BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE

DES

ÉLECTRICIENS

RECONNUE D'UTILITÉ PUBLIQUE LE 7 DÉCEMBRE 1886

CINQUIÈME SÉRIE

TOME I — ANNÉE 1931



COMTE-JACQUET et C^ie^, Éditeurs
58, Boulevard de la Rochelle, 58
BAR-LE-DUC

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE

DES

ÉLECTRICIENS

SOMMAIRE

(1) La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses Membres dans les discussions, ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

5e série, tome I, n° 1. Janvier 1931

COMPTES RENDUS DES RÉUNIONS

RÉUNION ORDINAIRE MENSUELLE

du Samedi 8 Novembre 1930

Présidence de M. H. Parodi

La séance est ouverte à 16 h. 30.

Le procès-verbal de la précédente séance est adopté.

Il est donné connaissance des demandes d'admissions suivantes :

MM.

Abry (Georges-Paul-Frédéric), inspecteur divisionnaire du Matériel de la Compagnie des Chemins de fer P. L. M., 20, boulevard Diderot, à Paris (12e). — Présenté par MM. Parodi et Grosselin.

Adams (Comfort-Avery), Consulting Engineer, 115, Leonard Street, Belmont, Massachusetts (U. S. A.). — Présenté par MM. Mailloux et Kennelly.

Banoun (Marcel), ingénieur A. M. et E. S. E., 24, boulevard du 2e Zouaves, à Oran (Algérie). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Bauche (Maxime), ingénieur E. S. E., 2, rue Mézières, à Rehon, près Longwy (Meurthe-et-Moselle). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Bernard (Yves-Eugène), ingénieur de l'Exploitation à la Société « L'Electricité d'Alep », 193, rue de France, Khandak-Alep (Syrie). — Présenté par MM. Martinel et de Valbreuze.

Bernard (Robert-Marie-Jules), ingénieur E. S. E., 4, rue Henri de Grammont, à Alger (Algérie). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Blain (Paul-Auguste), ingénieur E. S. E., 84, rue du Maréchal-Foch, à Abbeville (Somme). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Boulard (Paul), ingénieur E. S. E. à la Compagnie des Compteurs à Montrouge, 29, avenue des Mimosas, Vitry-sur-Seine (Seine). — Présenté par MM. Iliovici et Douce.

Bragard (Jean), ingénieur A. M. et E. S. E., à Ladignac-le-Long (Haute-Vienne). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Chartenot (Pierre), ingénieur A. M., 62, boulevard d'Estrées, à Chatellerault (Vienne). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Conan (Jean-Pierre), ingénieur E. S. E., Hergovo-en-Plauguer, par Carhaix (Finistère). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Crochet (François), directeur à la Société Pétrier, Tissot, Raybaud, 26, rue Arago, à Villeurbanne (Rhône). Domicile : 50 bis, rue Besson, à Lyon (3e) (Rhône). — Présenté par MM. Delon et Domenach.

Decante (André-Pierre), ingénieur E. S. E., 91, rue des Martyrs, à Paris (9e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Dellenbach (Pierre), ingénieur du génie rural, ingénieur électricien E. S. E., 19, avenue du Maine, à Paris (15e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Derou (Georges-Honoré-Auguste), ingénieur E. S. E, 1 *ter*, quai de la Marne, à Joinville-le-Pont (Seine). — Présenté par MM. Grosselin et Petit G.-E.

Diaz de Tuesta (Domicio), ingénieur E. S. E., ingénieur industriel, Gurendes (Alava), par Vitoria (Espagne). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Dubuquoy (Marc), ingénieur E. S. E., 6, rue Simonin, à Courbevoie (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Duby (Paul-Emile-Eugène), ingénieur à la Société « Alsthom », 3, rue Michelet, à Choisy-le-Roi (Seine). — Présenté par MM. Jouvion et Le Chevalier.

Epure (Stefan-Irajan), ingénieur électro-mécanicien, diplômé de l'Ecole Polytechnique de Bucarest, ingénieur aux usines commerciales de Bucarest « gaz et électricité », rue Sarindar, n° 8-10, 1er arr., Bucarest (Roumanie). — Présenté par MM. Soyer et Antoniu.

Fabre (Léon), ingénieur de la Société des usines thermiques Rhône-Poulenc, usine de Saint-Pons, 18, rue de l'Abbaye d'Aisnay, à Lyon (Rhône). — Présenté par MM. Delon et Domenach.

Gaillard (Pierre-Maurice), inspecteur principal adjoint aux Usines techniques (télégraphie, éclairage) des chemins de fer P. L. M., 20, boulevard Diderot, à Paris (12e). — Présenté par MM. Parodi et Grosselin.

Gelin (Lazare), 35, rue Le Marois, à Paris (16e). — Présenté par MM. Grosselin et G.-E. Petit.

George (Louis), ingénieur I. E. G., directeur du bureau de Paris de la Société Savoisienne de Constructions Electriques, 29, rue de Miromesnil, Paris (8e). Domicile : 11, rue de l'Odéon, à Paris (6e). — Présenté par MM. Grosselin et Jaula.

Girard (Emile), directeur des services électriques de la Société des Grands Travaux de Marseille, 25, rue de Courcelles, à Paris (8e). — Présenté par MM. Duval et Goldschmidt.

Guyot (Marc-René-Jean), ingénieur E. S. E., 95, avenue de Versailles, à Paris (16e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Hak (Joseph), ingénieur à la Société des perfectionnements appliqués à l'Industrie, 241, boulevard Saint-Germain, à Paris. Domicile : 12, boulevard de la Chapelle, Paris (18e). — Présenté par MM. Grosselin et Doizan.

Hervier (Gabriel-Benjamin), ingénieur E. S. E., 9, rue Porte-aux-Dames, à Romorantin (Loir-et-Cher). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Herzfeld (Raul-A.-F.), ingénieur-électricien, Charcas 1840, à Buenos-Aires (République Argentine). — Présenté par MM. Rougé et Grosselin.

Hinglais (Emile), ingénieur en chef du matériel et de la traction à la Compagnie des chemins de fer du Maroc, à Rabat (Maroc). — Présenté par MM. Parodi et Cardon.

Janicki (Venceslas), ingénieur E. P. F. de Zurich, ingénieur à la Société Landis et Gyr, à Zoug. Chalet Guggital, à Zoug (Suisse). — Présenté par MM. Trollet et Grosselin.

Karcoulias (Stavros), capitaine du génie de l'armée hellénique, ingénieur électricien E. S. E. Direction du génie au Ministère de la Guerre à Athènes (Grèce). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Kauffmann (Jean), ingénieur E. S. E., 38, avenue Jean-Jaurès, à Lyon (7e) (Rhône). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Landelle (Marcel-Pierre-Léon-Constant), ingénieur A. et M. et E. S. E., La Pommeraie, Ballée (Mayenne). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Landre (Guy-Charles-Emile), ingénieur à la Société d'Electricité d'Alep (Syrie), 17, rue Cavallotti, à Paris (18e). — Présenté par MM. Martinel et de Valbreuze.

Lesbordes (Julien-Mathieu), ingénieur A. M. et E. S. E., 19, cours Victor-Hugo, à Bègles (Gironde). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Levy (René-Henri), ingénieur E. S. E., 8, boulevard Baudin, à Alger (Algérie). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Lilamand (Charles-Marie), industriel, 87, rue Voltaire, à Levallois-Perret (Seine). — Présenté par MM. Grosselin et G.-E. Petit.

Al Maleh (Atef-Adib), diplômé 1er de l'Ecole d'Arts et Métiers d'Alep, conseiller d'orientation professionnelle, diplômé de l'Institut de Paris, professeur d'enseignement technique en Syrie, 41, rue Muphty, Soucsarouja, à Damas (Syrie). — Présenté par MM. Iglésis et Darnal.

Margot (Gustave), inspecteur au service électrique de la voie à la Compagnie P. L. M., 15, rue Traversière, à Paris (12e). — Présenté par MM. Grosselin et G.-E. Petit

Marie-Lanoe (Jean-Georges), ingénieur E. S. E., à Tinchebray (Orne). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Mathias (Emile-Ovide-Joseph), professeur de physique générale à la Faculté des Sciences de Clermont, directeur de l'Institut et Observatoire de Physique du Globe du Puy-de-Dôme, Observatoire de la Côte de Landais, par Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme). Présenté par MM. Grosselin et G.-E. Petit.

Mazeau (Jean), ingénieur E. S. E., 15, cours Montaigne, à Périgueux (Dordogne). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Michon (Gabriel), ingénieur E. S. E., 1, rue Pasteur, à Périgueux (Dordog... Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Morvan (Lucien), ingénieur E. S. E., Le Faon (Finistère). — Présenté par MM. ... et Guilbert.

Nazeer Ali (Syed), c/o Thomas Cook and Sons Ltd, Berkelet Street, London (E... — Présenté par MM. Haque et Russell.

Niogret (Marcel), ingénieur à la Société lyonnaise des Forces Motrices du Rhô... quai Claude Bernard, à Lyon (Rhône). — Présenté par MM. Berne et Thal...

Palles (Stylianos), officier de l'armée hellénique, ingénieur E. S. E., rue ... n° 75, à Athènes (Grèce). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Pauthenier (Marcel), professeur de Physique à la Faculté des Sciences de Paris, ... du Maréchal Foch, à Versailles (Seine-et-Oise). — Présenté par MM. Gros... Petit G.-E.

Pegard (Pierre), ingénieur A. M. et E. S. E., 142, avenue d'Orléans, à Paris ... — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Potamianos (Cimon-Spiridon), ingénieur E. S. E. à la Société électrique de ... à Athènes, Acti Montsopoulon 1er, Le Pirée (Grèce). — Présenté par MM. ... et Guilbert.

Pouret (Hector-Charles), ingénieur A. M. et E. S. E., 6, chemin de la Roche-... Limoges (Haute-Vienne). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Rabu (Simon-Jacques-Marie-Léon), ingénieur E. S. E., 19, avenue du Maine, à Paris ... — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Richard (Louis), secteurs électriques, à Rochefort-sur-Mer (Charente-Inférieure) ... Présenté par MM. Gachet et Lacharme.

Roche (Jean-René-Louis), ingénieur E. S. E., 19, avenue du Maine, à Paris ... — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Rocq (Clément), ingénieur à l'Hydro-Electrique des Basses-Pyrénées, Bayonne, ... Loetitia, rue Champ Lacombe, à Biarritz (Hautes-Pyrénées). — Présenté par ... Delasalle et Berthet.

Savatier (Jean), ingénieur E. S. E., 8, rue Lagarde, Paris (5e). — Présenté par ... Janet et Guilbert.

Schlomiuk (Samuel), ingénieur I. E. T. et E. S. E., Str. Miron Costin, n° 11, C... (Roumanie). — Présenté par MM. Janet et Guilbert

Schreiber (Louis-Jean-Joseph), sous-directeur des laboratoires Standard, 46, aven... Breteuil, à Paris (7e). Domicile : 7, rue Boileau, à Versailles (Seine-et-Oi... Présenté par MM. Deloraine et Grosselin.

Sennhauser (Daniel), ingénieur de l'Ecole Pratique de Radioélectricité, ing... E. S. E., 33, faubourg Poissonnière, à Paris (9e). — Présenté par MM. Ja... Guilbert.

Serve (Jean-Paul), ingénieur E. S. E., 61, rue Madame, Paris (6e). — Présenté ... MM. Janet et Guilbert.

Taix (Gabriel-François), ingénieur, chef du Service Electrique de l'Association de... priétaires d'Appareils à Vapeur du Sud-Ouest, 28, allées d'Orléans, à Bor... Domicile : 40, rue Kléser, à Bordeaux (Gironde). — Présenté par MM. Ber... Deschamps.

Taralon (Serge-Michel), ingénieur A. et M. et E. S. E., 46 *bis*, rue Chanzy, L... (Sarthe). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Tercinet (Georges), ingénieur E. S. E., 10, rue Saint-Louis, à Melun (Seine-et-M... — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Thevenot (Henri-Louis), ingénieur-mécanicien I. E. N., élève ingénieur-électricien ... E. N., 17, avenue Paul Déroulède, à Laxou-Nancy (Meurthe-et-Moselle). — Pr... par MM. Steinman et Leyval.

Thouvignon (Jean-Marcel-Pierre), ingénieur E. P. C. I. et E. S. E., 16, rue M... sier, Paris (1er). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Thuet (Walter), directeur de la Maison Landis et Gyr S. A. Zoug, 43, Beethoven... Zurich (Suisse). — Présenté par MM. Trollet et Grosselin

Toussaint (René-Victor), directeur des Etablissements Cartier-Bresson, 124, avenue ... Jaurès, à Pantin (Seine). — Présenté par MM. Cellerier et Toulon.

Vasilesco (Virgile), ingénieur électro-mécanicien diplômé de l'Ecole Polytechnique ... Bucarest, ingénieur au Ministère des Travaux Publics (Roumanie), rue C... Négris, 13 (VIe), à Bucarest (Roumanie). — Présenté par MM. Soyer et Ant...

Vattaire (Laurent-Lucien-Roger), ingénieur en chef de l'Exploitation des chemins de fer de Bozanti, Alep, Nissibine et prolongement, à Alep (Syrie). — Présenté par MM. Martinel et de Valbreuze.

Vollat (René-Claude-Jean), ingénieur E. S. E., 6, place Montplaisir, à Lyon (7e) (Rhône). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Wecter (William), ingénieur en chef de l'Electricité d'Alep, à Alep (Syrie). — Présenté par MM. Martinel et de Valbreuze.

Whitby (Harvie-W.), ingénieur, 126, Stuyvesant aven Newark, New-Jersey (U. S. A.). — Présenté par MM. Sidi Léon et Bonfante.

Wiet (Raymond-Jean), ingénieur A. M. et E. S. E., 62, avenue Carnot, à Mohon (Ardennes). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Sans opposition de la part des Membres présents, ces candidats sont élus Membres titulaires de la Société.

M. le Président fait part en ces termes du décès de MM. Neu et Schwarberg.

M. Neu, Ingénieur-Conseil, Membre de la Société depuis 1893, a été plusieurs fois membre du Comité. Il a présenté à nos diverses séances un grand nombre de communications d'un caractère très original.

M. Schwarberg (E.), Administrateur-Délégué de la Compagnie Electromécanique, Membre de la Société depuis 1897 a apporté à l'Ecole Supérieure d'Electricité et au Laboratoire Central d'Electricité, un secours très efficace par les subventions de sa Société et par celles qu'il a obtenues du Groupe des Syndicats des Constructeurs dont il était Président.

M. le Président adresse aux familles de ses regrettés collègues l'expression de la plus douloureuse sympathie de la Société.

M. le Président annonce les promotions suivantes dans l'ordre de la Légion d'Honneur :

Commandeur : M. Laurain (Henri), Ingénieur-Conseil de la Société du Gaz de Paris.

Officiers : M. Carlini (Dominique), Capitaine de Corvette, attaché naval à Athènes.

M. Reau (Jean), Lieutenant de vaisseau.

M. Sicard (Emile), Ingénieur E. S. E.

Chevaliers : M. Harlé (André).

M. Jumau (Lucien), Directeur technique de l'Accumulateur Tudor.

M. Tachard (André-Pierre), Fondé de pouvoirs de la Société Alsacienne de Constructions mécaniques.

M. le Président annonce les deux concours suivants :

Le Bureau international de l'Aluminium, 23 *bis*, rue de Balzac à Paris, ouvre un Concours international de l'Aluminium doté de 100 000 francs de prix, dans le but de récompenser les études concernant une réalisation d'appareil ou une amélioration apportée à un procédé d'application susceptible de développer l'emploi de l'aluminium ou de ses alliages.

Il y aura 2 prix de 25 000 francs et un prix de 50 000 francs.

L'ouverture du concours est fixée au 1er janvier 1931.

Les mémoires devront être remis à partir de cette date et au plus tard le 1er avril.

Les mémoires devront être dactylographiés et signés et adressés au Bureau international de l'aluminium.

La proclamation des résultats aura lieu au plus tard le 1er juillet 1931.

The Lincoln Electric C°, P. O. Box 683 Cleveland, constructeurs de machines à souder électriques, met au concours une étude sur les applications possibles de ses procédés de soudure à la construction métallique.

Des prix variant de 7 500 à 100 dollars seront attribués aux 41 études classées premières par le jury.

M. Mathias, présente une communication sur « la foudre globulaire [1] ».

Après un rappel des diverses théories émises pour expliquer l'éclair et le tonnerre, il relate des observations d'éclairs à déplacement vertical se terminant ou non par l'apparition de la foudre globulaire. Il en conclut que l'énergie électrique dépensée dans l'éclair provoque la combinaison d'un corps endothermique sans doute un oxyde d'azote, qui explose quand sa température s'abaisse.

Ce corps, dont la tension superficielle tend à contracter l'éclair et à le transformer en éclair sphérique, il l'appelle matière fulminante; il en étudie les propriétés d'après les observations faites et montre qu'elles découlent, dans sa théorie, des lois de la thermodynamique et de celles de la chimie.

Il entend montrer en terminant que l'énergie interne de la matière fulminante pure, par centimètre cube, au moment de sa destruction, est d'environ 2 860 kilogrammètres et qu'elle est par gramme, environ quatre fois celle de la nitroglycérine.

---

(1) Cette communication a paru dans le *Bulletin* de Décembre 1930.

M. Chaumat. — Y a-t-il eu des mesures faites sur les phénomènes signalés par M. Mathias, d'éclairs ascendants et descendants ?

M. Mathias. — De nombreuses observations ont été faites notamment sur l'éclair ascendant, on a pu en déduire que la matière fulminante obéit aux lois physiques, chimiques et mécaniques connues.

M. le Président — Je remercie vivement en votre nom M. Mathias, qui a consacré plusieurs années de sa vie à interpréter ces phénomènes très complexes et qui nous les a exposés d'une manière parfaitement claire.

La séance est levée à 18 h. 50.

LE NOUVEAU SYSTÈME DE TÉLÉPHONIE AUTOMATIQUE DE LA COMPAGNIE DES TÉLÉPHONES THOMSON-HOUSTON (1)

par M. GOHOREL,

Ingénieur à la Compagnie des Téléphones Thomson-Houston.

Indépendamment des avantages que procurent ses caractéristiques particulières, le nouveau système de la Compagnie des Téléphones Thomson-Houston appelé système R-6 présente pour nous Français, un intérêt particulier.

Le système R-6 a vu le jour en France, inventé par un Français, mis au point et développé chez nous par des ingénieurs français ; il s'est révélé dès ses débuts, comme très capable de lutter avantageusement avec ses concurrents plus anciens que lui.

Le premier réseau téléphonique public doté d'un autocommutateur R-6 fut mis en service en Sarre, à la fin de 1927. L'intérêt du système n'avait pas échappé aux ingénieurs de l'Administration française des P. T. T. qui commandèrent un autocommutateur d'essai pour la ville de Troyes. Au début de 1928 les abonnés de Troyes avaient à leur disposition, à leur tour, le nouveau système. Les résultats obtenus dans ces deux installations furent excellents et très concluants. Deux autres automatiques R-6, l'un à Nîmes, l'autre à Epinal furent mis en service dans le courant de l'année 1929 et dans très peu de temps St-Quentin et Blida vont bénéficier du nouveau système. (2)

D'autres commandes pour des villes importantes de France et du Maroc sont en cours d'exécution à l'heure actuelle et dans un an 30 à 35 000 abonnés auront à leur disposition le système R-6, sans compter les installations privées dont le nombre dépasse 250 et qui desservent environ 8 000 postes.

Avant d'aborder l'étude de ce système, nous rappellerons quelques principes généraux sur la téléphonie automatique :

---

(1) Communication présentée en séance publique le 5 avril 1930.
(2) Ces installations sont maintenant en service.

En téléphonie automatique on appelle « Commutation » le problème qui consiste à relier ensemble deux abonnés quelconques d'un réseau téléphonique; la téléphonie automatique est une solution de ce problème, solution dans laquelle l'abonné demandeur opère lui-même à distance la sélection de l'abonné qu'il demande. Le problème n'apparaît pas de prime abord comme très simple, puisque si l'on considère un réseau de n abonnés, le nombre des liaisons possibles est $n(n-1)$ soit environ 10^8 dans un réseau de 10 000 abonnés.

L'idée simpliste qui vient tout d'abord à l'esprit est la suivante : Faisons aboutir chaque ligne d'abonné sur le bras frotteur d'un commutateur qui aura autant de plots qu'il y aura d'abonnés dans le réseau; relions chacun de ces plots à une ligne d'abonné puis par une liaison électromagnétique convenable faisons mouvoir le bras par l'envoi de courants appropriés à partir du poste appelant. On pourra ainsi orienter le frotteur sur le plot désiré, c'est-à-dire relier la ligne appelante à la ligne appelée.

C'est une solution, ce fut même la première solution il y a quelque 40 ans, mais si l'on peut la concevoir comme réalisable lorsque le réseau ne comprend que quelques abonnés, 100 à la rigueur, on se heurte à une complication prohibitive pour un plus grand nombre d'abonnés (une installation pour 10 000 abonnés comprenant 10 000 commutateurs à 10 000 plots) et à une impossibilité lorsque les abonnés sont répartis dans plusieurs bureaux.

Une première remarque s'impose : c'est que les abonnés ne parlent pas tout le temps et le nombre des communications simultanées est toujours bien inférieur à la moitié du nombre des abonnés, nombre maximum d'appels possibles simultanément. Connaissant le nombre moyen d'appels qu'effectue un abonné pendant un laps de temps déterminé et la durée moyenne de ses communications on détermine, en appliquant les calculs de probabilités, une valeur approximative du nombre des communications simultanées probables. Ainsi l'on constate que dans un central de 10 000 abonnés, on atteint très rarement un nombre de communications simultanées supérieur à 500.

Si l'on disposait de moyens convenables, dans l'exemple précédent, au lieu de 10 000 commutateurs à 10 000 plots, on pourrait donc se contenter de 500 de ces commutateurs.

Pour arriver à ce but on peut employer divers moyens dont voici les deux principaux :

1° On associera au frotteur de chacun de ces 500 commutateurs à 10 000 plots que nous appellerons « sélecteurs » le frotteur d'un autre commutateur à 10 000 plots que nous appellerons « chercheur » et

dont les plots seront reliés aux lignes des abonnés. Lorsqu'un abonné voudra effectuer un appel, par une manœuvre préliminaire appropriée (le décrochage de son récepteur, par exemple) il mettra en action un chercheur libre qui recherchera la ligne appelante pour la relier au sélecteur qui lui est associé. Le sélecteur recevra alors les commandes du poste appelant et reliera celui-ci au poste appelé comme nous l'avons vu précédemment.

2° Dans le second moyen on reliera chaque ligne d'abonné au frotteur d'un commutateur à 500 plots reliés chacun au frotteur d'un des 500 sélecteurs. Ce commutateur à 500 plots est appelé « présélecteur ».

Lorsque l'abonné demandeur appelle, son présélecteur cherche d'abord un sélecteur libre pour relier celui-ci au poste appelant, puis le sélecteur choisi par le présélecteur s'oriente sur la ligne demandée sous l'effet des commandes du poste appelant.

Cependant ces deux solutions, tout en introduisant une notable économie d'équipement, obligent à utiliser des commutateurs dont le nombre de plots reste très élevé.

Quoique certains systèmes aient utilisé, par de très ingénieuses dispositions des commutateurs, la première de ces deux solutions, il était nécessaire de réduire la dimension des commutateurs à une valeur telle qu'on puisse les réaliser pratiquement et à bas prix. Des commutateurs ayant une capacité de 10 à 300 lignes sont facilement exécutables, aussi a-t-on cherché les moyens de les utiliser.

Pour cela on a divisé les abonnés en groupes, et on a scindé la recherche de l'abonné, en recherchant d'abord le groupe auquel appartient l'abonné demandé, puis dans ce groupe, l'abonné demandé lui-même. Par exemple dans notre réseau de 10 000 abonnés on commencera par rechercher le mille demandé par un premier commutateur à 10 plots que nous appellerons 1er sélecteur et relié au poste appelant, puis par un deuxième commutateur identique dont le frotteur est relié au plot du 1er sélecteur qui correspond au mille demandé, on recherchera la centaine demandée dans le mille demandé. Ce deuxième commutateur est appelé deuxième sélecteur ou sélecteur de centaines. Enfin par un commutateur à 100 plots relié au plot du deuxième sélecteur et correspondant à la centaine demandée, on atteindra la ligne demandée; ce dernier commutateur est appelé « sélecteur final » ou « sélecteur de lignes ».

Nous avons supposé dans cet exemple que chaque abonné disposait d'un premier sélecteur, mais par l'artifice des chercheurs ou des présélecteurs on pourra avoir beaucoup moins de premiers sélecteurs

que d'abonnés. De même que nous avons divisé les abonnés demandés en groupes, nous pouvons aussi diviser les abonnés demandeurs en groupes de 100 par exemple, chaque groupe ayant à sa disposition un nombre de chercheurs suffisant pour écouler les communications possibles (10 par cent abonnés, par exemple). Nous pouvons aussi diviser les premiers sélecteurs en groupes de 25 par exemple et donner à chaque abonné un présélecteur à 25 plots.

Nous devons remarquer qu'en vertu de la loi des grands nombres, plus les groupes d'abonnés seront petits, plus il nous faudra d'organes, car plus le groupe est petit, plus il peut se produire proportionnellement d'appels simultanés. Ainsi dans l'exemple du réseau de 10 000 abonnés où nous estimions qu'il y aurait rarement plus de 500 appels simultanés, soit 5 % du nombre des abonnés il faut compter que dans un groupe de 100 abonnés, on a autant de chances d'avoir 12 appels simultanés, soit 12 % et dans un groupe de 50 abonnés, 8 appels simultanés, soit 16 %.

Il n'y a donc pas intérêt à diminuer par trop l'importance des groupes, car, si d'une part on diminue la capacité et par suite le prix des commutateurs, on en augmente d'autre part le nombre. Si l'on reprend notre exemple, on voit qu'il faut :

soit 500 chercheurs	à	10 000 plots
soit 1 200	—	100 plots
soit 1 600	—	50 plots.

Il faut donc se tenir dans un juste milieu.

Nous avons supposé que chaque premier sélecteur était relié par ses 10 plots à 10 sélecteurs de centaines qui, eux-mêmes, étaient reliés chacun à 10 sélecteurs finals, ce qui conduisait à 100 sélecteurs finals pour chaque premier sélecteur. Chacun de ces derniers ne pouvant écouler qu'une seule communication à la fois, 9/10 des sélecteurs de centaines et 99/100 des sélecteurs finals restent inutilisés. Pour éviter cet excès d'organes, on peut imaginer d'associer à chaque plot du premier sélecteur un commutateur analogue au présélecteur de tout-à-l'heure et dont les plots seront reliés à des sélecteurs de centaines. Quand le premier sélecteur aura été orienté par les commandes du poste appelant, le présélecteur recherchera de lui-même un sélecteur de centaines libre. En donnant à ce présélecteur un nombre de plots convenable, on diminuera ainsi beaucoup le nombre de sélecteurs de centaines; il faut remarquer en passant que plus ce nombre de plots sera grand, plus le nombre de sélecteurs de centaines sera petit en vertu de ce que nous disions tout à l'heure pour les chercheurs.

On peut faire de même entre les sélecteurs de centaines et les sélecteurs finals et diminuer ainsi le nombre de ces derniers.

Si cette disposition diminue considérablement le nombre de sélecteurs, il n'en reste pas moins que chaque sélecteur doit posséder 10 de ces présélecteurs et là encore pour chaque appel un seul de ces 10 présélecteurs est utilisé.

Pratiquement on combine cette présélection avec la sélection du mille ou de la centaine sur un seul et même organe que l'on appelle en termes courants « sélecteur » et que nous pouvons maintenant définir de la manière suivante :

Un sélecteur, c'est l'ensemble des moyens propres à remplir les deux fonctions ci-après :

1° la fonction de « sélection commandée » qui consiste à choisir un groupe de lignes, groupe dont l'ordre est déterminé par les commandes du poste appelant : ce serait le mille ou la centaine dans notre exemple

2° la fonction dite de « sélection libre » qui consiste à rechercher une ligne libre dans le groupe déjà choisi afin de prolonger la communication sur un sélecteur libre de l'étage suivant.

Nous avons supposé que le sélecteur choisissait le mille, la centaine demandées, car c'est là la plus simple hypothèse, mais dans bien des cas, la sélection ne s'opère pas ainsi sur une base décimale, mais de manière apparemment quelconque : par exemple cette sélection s'opère par groupes de 200 abonnés dans le système Rotary.

Nous ne nous sommes pas préoccupés jusqu'alors de la manière dont l'abonné demandeur commandait les sélecteurs pour l'accomplissement de la fonction de sélection commandée. Il faut se rendre compte qu'on ne dispose pour cela que de deux fils qui relient le poste de cet abonné au central et qu'on ne possède aucune source d'énergie chez l'abonné. On procède alors par ruptures successives du circuit constitué par les deux fils de ligne. Au moyen du disque d'appel que vous connaissez tous, et qui n'est autre chose qu'un interrupteur tournant à vitesse constante, on produit dans la ligne, un nombre de ruptures égal au nombre d'unités du chiffre à transmettre (ce nombre est déterminé par le déplacement angulaire qu'on fait subir au cadran pendant sa manœuvre). On envoie ainsi des trains successifs de coupures suivant la valeur et le nombre des chiffres.

Ces impulsions relayées ou non par un enregistreur agissent sur le sélecteur en général par l'intermédiaire d'un mécanisme électromagnétique qui se déplacera d'un pas à chaque impulsion.

Mais la ligne de l'abonné qui appelle n'est pas forcément parfaite,

elle peut être très résistante comme elle peut être très mal isolée et les impulsions de courant émises par le cadran d'appel arriveront au central avec des puissances très variables suivant les lignes auxquelles le sélecteur considéré sera momentanément associé.

D'autre part, nous ne disposons ainsi que nous l'avons vu, que de 2 fils entre l'abonné et le central, nous ne pouvons donc au poste de l'abonné que réaliser 2 combinaisons avec ces 2 fils : ou les réunir ou les séparer. Pour appeler on les réunit, puis on fait des interruptions successives pour commander les sélecteurs et en fin de conversation, pour provoquer la libération de la connexion établie, nous n'avons d'autre ressource que de séparer définitivement les deux fils. Pour différencier la libération, de la commande des sélecteurs, il faut provoquer des coupures de longueur différente pour ces deux cas. Comme pour la libération, nous devons faire une coupure qui dure jusqu'au prochain appel, nous devons pour l'envoi des chiffres faire des coupures brèves et rapides (en général 10 coupures par seconde durant chacune 66 millisecondes).

Notre sélecteur doit donc obéir à des impulsions de courant de puissance variable et en même temps rapides. Ceci revient à dire que son mécanisme doit être extrêmement fidèle et rapide; il devra donc avoir très peu d'inertie et n'accomplir que des déplacements très petits.

La fonction de sélection libre consiste à explorer les contacts sur lesquels aboutissent les sélecteurs suivants afin de trouver un de ces sélecteurs qui soit libre : or, nous avons vu que plus grand était le nombre de contacts sur lesquels portait l'exploration, plus petit était le nombre de sélecteurs correspondants nécessaire. Si nous voulons donc réaliser une économie dans le nombre d'organes, il faut que le sélecteur explore un grand nombre de lignes, c'est-à-dire qu'il ait à sa disposition un grand champ de contacts, autrement dit il faut qu'il soit le plus grand possible.

Nous pouvons donc maintenant définir les buts que doit atteindre un sélecteur pour remplir au mieux les deux fonctions qui lui sont confiées :

1° Pour bien remplir la fonction de sélection commandée, c'est-à-dire bien recevoir les impulsions, il faut que le sélecteur ait peu d'inertie et n'accomplisse que de petits déplacements, c'est-à-dire qu'il faut qu'il soit aussi petit que possible.

2° Pour bien remplir la fonction de sélection libre et pour que le nombre d'organes reste économique, il faut que le sélecteur ait de grands champs de contacts, c'est-à-dire qu'il soit aussi grand que possible.

Dans les systèmes en usage et qui n'utilisent pas d'enregistreurs, on a voulu concilier ces deux conditions contradictoires, on n'a pu par conséquent les satisfaire que partiellement.

Ainsi on a eu idée de faire un commutateur dont tous les groupes de contacts étaient disposés à la suite les uns des autres et dont le frotteur se déplaçait à grands pas pour la sélection commandée et à pas plus petits (dans le groupe choisi par grands pas) pour la sélection libre. C'est l'ancien système de l'American Electric Cy et plus récemment le système Panel. Dans ce dernier système où l'on dispose d'enregistreurs, l'inconvénient est moindre puisque l'abonné n'agit pas directement sur les sélecteurs, mais le fait de se déplacer à grands pas pour la sélection commandée est contraire à la condition posée précédemment et par conséquent défavorable à une bonne réception des impulsions.

On a eu aussi une idée plus ingénieuse, c'est, afin de diminuer le chemin à parcourir pendant la sélection commandée, de disposer les contacts non plus sur une ligne mais sur une surface et de décomposer le chemin parcouru par le frotteur en deux trajets suivant deux directions différentes. On a dans ce cas la disposition la plus répandue à l'heure actuelle, celle des contacts rassemblés par niveaux (Strowger, Rotary, Ericsson).

En général la sélection commandée opère le choix du niveau et la sélection libre, celui du contact dans le niveau choisi. Ainsi, par exemple, dans le système Strowger bien connu, le sélecteur comprend 10 niveaux horizontaux de 10 contacts; le frotteur est animé d'abord d'un mouvement vertical d'ascension pour le choix du niveau pendant la sélection commandée et ensuite d'un mouvement horizontal de rotation sur le niveau choisi pendant la sélection libre.

En rapprochant les niveaux les uns des autres, le frotteur n'aura que des déplacements assez petits à accomplir, cependant le mécanisme reste compliqué par la nécessité des deux mouvements, son inertie est loin d'être négligeable et la disposition des contacts en niveaux n'est pas favorable à leur bonne utilisation comme nous le verrons tout à l'heure.

Dans le système R-6 on est parti d'une toute petite idée. Si dans nos organisations, la spécialisation des individus aux fonctions qui leur conviennent le mieux, amène généralement d'heureux résultats, il n'y a pas de raison de penser qu'il n'en soit de même dans la téléphonie automatique. Aussi au lieu de chercher à concilier dans le sélecteur R-6 les deux conditions opposées exprimées tout à l'heure, on a fait de la spécialisation.

Un sélecteur R-6 est constitué par deux organes l'un pour la sélection commandée, l'autre pour la sélection libre. Comme chacun de ces organes n'a à remplir que la seule fonction à laquelle il est destiné il peut être établi pour satisfaire cette fonction de la façon la plus convenable.

Pour la sélection commandée, c'est-à-dire pour la réception des impulsions, on a choisi un organe ayant peu d'inertie, n'ayant que de petits déplacements à effectuer pour chaque impulsion : c'est en général un commutateur rotatif de petites dimensions sur lequel nous allons revenir. C'est quelquefois aussi un ensemble de relais.

La fonction de sélection libre peut être assimilée à celle d'un chercheur dirigé dans le groupe demandé par l'organe de réception des impulsions. Pour la remplir il fallait donc un commutateur de mécanisme aussi simple que possible, ayant un nombre de contacts suffisamment grand pour que son champ de sélection conduise à un nombre d'organes économique. On utilisera encore un commutateur rotatif beaucoup plus grand, dans lequel tous les contacts disposés sur un arc de cercle sont à la suite les uns des autres et peuvent être explorés successivement par un frotteur. Comme ce commutateur ne reçoit pas les impulsions, son inertie, s'il en a, ne joue pas.

Nous allons maintenant pouvoir définir le sélecteur R-6 : Un sélecteur R-6 est un sélecteur qui est constitué par l'association de deux commutateurs rotatifs : un premier, petit, pour recevoir les impulsions et qu'on appelle commutateur de contrôle, un second grand, ramené au rang vulgaire d'un chercheur dirigé par le premier, pour prolonger la communication jusqu'au sélecteur suivant. Ce second commutateur est appelé commutateur principal ou plus brièvement « sélecteur ».

Le commutateur de contrôle (le premier de ces commutateurs) a donc le rôle le plus sérieux, nous pouvons dire qu'il est le cerveau qui commande au second commutateur (le sélecteur) qui, lui, est le bras qui exécute. Dans une bonne organisation, peu de cerveaux commandent à beaucoup de bras, dans le système R-6 peu de commutateurs de contrôle peuvent aussi commander beaucoup de sélecteurs.

En effet, le commutateur de contrôle, reçoit les impulsions et oriente le sélecteur qui n'a qu'à établir et à maintenir la connexion que lui a assignée le commutateur de contrôle. La tâche du sélecteur commence à l'instant où finit celle du commutateur de contrôle. Le commutateur de contrôle qui a travaillé un temps infime comparé à celui de la communication, n'a rien à faire pendant toute la durée de celle ci. Grâce précisément à la séparation des deux fonctions de sélec-

tion, il devenait possible non plus d'associer rigidement un commutateur de contrôle à chaque sélecteur, mais au contraire d'associer un commutateur de contrôle à plusieurs sélecteurs (le calcul indique qu'un commutateur de contrôle peut desservir de 10 à 20 sélecteurs).

Un central téléphonique R-6 nous apparaît alors comme la réunion de quelques organes à fonctionnement précis et à la tâche plus délicate, les commutateurs de contrôle, et d'organes beaucoup plus nombreux à fonctionnement très large et à la tâche très simple, les sélecteurs.

Une comparaison qui vous est familière s'impose, c'est celle d'un central téléphonique manuel dans lequel on peut assimiler les télé-

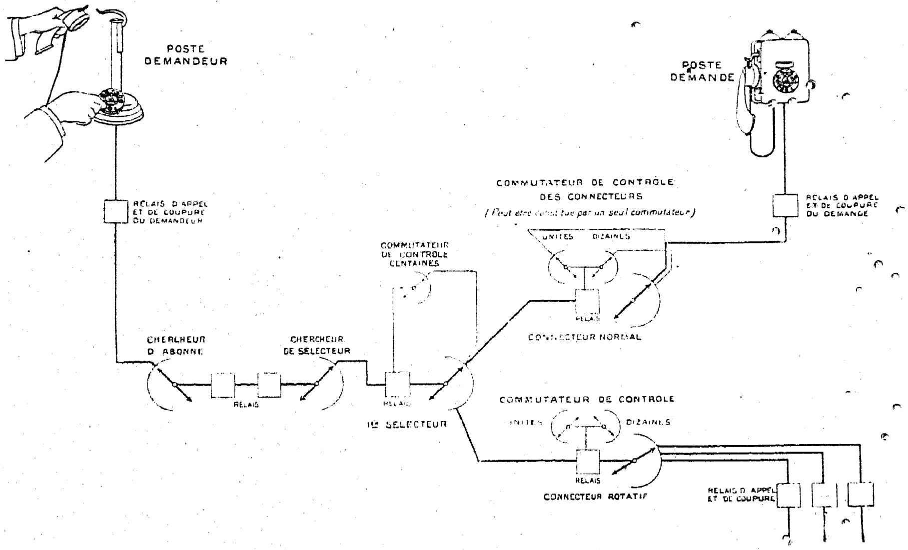


Fig. 1. — Ensemble des organes intervenant dans l'établissement d'une communication.

phonistes aux commutateurs de contrôle et les cordons qu'elles manipulent, aux sélecteurs.

Ces dispositions générales que nous venons de voir amènent des avantages très grands et très particuliers au système que nous allons étudier maintenant.

Voyons d'abord comment s'établit une communication dans un central R-6.

Dans la figure 1 sont représentés les organes qui entrent dans l'établissement d'une communication dans un réseau comprenant 1 000 abonnés. L'abonné demandeur désire appeler un abonné demandé 428, je suppose. L'abonné demandeur décroche son appareil; aussitôt un chercheur libre de sa centaine se met en mouvement pour

trouver la ligne appelante, le chercheur de sélecteur se met aussi en mouvement pour trouver un premier sélecteur libre associé à un commutateur de contrôle libre. Ces fonctions s'opèrent très rapidement dans un temps de l'ordre de la seconde, temps au bout duquel l'abonné demandeur perçoit dans son récepteur un signal l'invitant à numéroter. Cet abonné envoie alors au moyen de son cadran d'appel le chiffre des centaines 4, soit 4 impulsions de courant, qui actionnent le commutateur de contrôle du sélecteur de centaines pour le déplacer de 4 pas; le frotteur du sélecteur tourne, s'oriente dans le groupe de

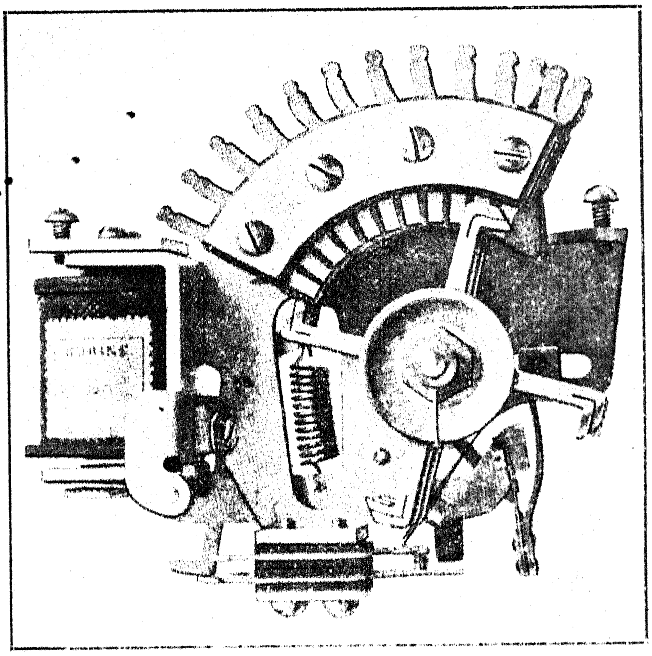


Fig. 2. — Commutateur à 11 directions. Vue d'ensemble.

contacts qui correspond à la centaine 4 et y choisit un sélecteur final libre associé lui-même à un commutateur de contrôle libre; ce dernier reçoit d'abord le chiffre des dizaines (le 2) que lui envoie l'abonné demandeur, oriente le sélecteur final sur la première ligne de la dizaine demandée, puis reçoit le chiffre des unités (le 8) et oriente enfin le sélecteur final de la 4e centaine sur la ligne 8 de la dizaine 2, soit sur la ligne « 428 ».

Si l'abonné demandé possède plusieurs lignes; le sélecteur final poursuit sa rotation et explore successivement toutes les lignes de cet abonné, jusqu'à ce qu'il en trouve une qui soit libre. Sinon le sélecteur donne le signal « occupé ».

S'il s'agissait d'une installation pour 10 000 abonnés il y aurait en plus un sélecteur de mille disposé avant le sélecteur de centaines, s'il s'agissait au contraire d'une installation pour 100 abonnés, on supprimerait le sélecteur de centaines.

Nous avons dit que c'était le commutateur de contrôle qui recevait les impulsions et que celui-ci était un petit commutateur rotatif.

Ce commutateur (fig. 2) porte des frotteurs à 4 branches, chaque branche explore à tour de rôle 11 contacts disposés sur un arc de cercle de 90°.

L'entraînement des frotteurs est obtenu par une roue à rochet et un cliquet actionné par un électro. Chaque impulsion de courant produite par le cadran d'appel attire l'armature de l'électro qui bande un ressort, et, dès que le courant cesse, l'armature est relâchée entraînant le cliquet qui fait avancer les frotteurs d'un pas. Ce commutateur est d'une rapidité extrême, son armature est attirée ou relâchée dans un temps qui est d'environ 3 millisecondes, aussi parcourt-il aisément 100 à 120 contacts par seconde. On conçoit dans ces conditions la facilité avec laquelle il peut suivre les impulsions envoyées par le poste appelant. Pour un réglage déterminé, par exemple, il fonctionne aussi bien sur une ligne d'abonné de 1 800 ohms de résistance et parfaitement isolée (condition de puissance minimum) qu'avec une ligne de résistance nulle mais ayant un défaut d'isolement de 3 500 ohms entre fils (condition de puissance maximum). Le premier cas représente une ligne d'abonné en câble d'une vingtaine de kilomètres et le second une ligne tellement mauvaise que la conversation devient impossible. On ne peut songer à obtenir un tel résultat avec d'autres systèmes à commande directe. Il est de fait que dans les installations R-6 en fonctionnement, la question des mauvaises lignes, toujours gênante dans les premiers jours de service d'un central automatique, est passée inaperçue.

Le sélecteur proprement dit (fig. 3) est un commutateur rotatif du même genre, mais dont les frotteurs peuvent explorer 51 contacts disposés en demi-cercle. Si les frotteurs sont à deux branches diamétrales, le commutateur pourra rechercher parmi 51 lignes à chaque demi-tour; si au contraire il possède deux frotteurs à une branche calés à 180° l'un de l'autre et explorant chacun 51 contacts, le commutateur pourra rechercher parmi 51, 102, 153, 204 lignes sur un même commutateur avec de nombreuses combinaisons de frotteurs. Le nombre de 51 contacts n'est nullement obligatoire, et vu la disposition des contacts il peut être différent et quelconque; on s'est arrêté à 51 (50 po-

sitions utiles plus une d'essai) parce que cette capacité répondait le mieux aux cas rencontrés le plus fréquemment dans la pratique.

L'entraînement des frotteurs du sélecteur est généralement obtenu

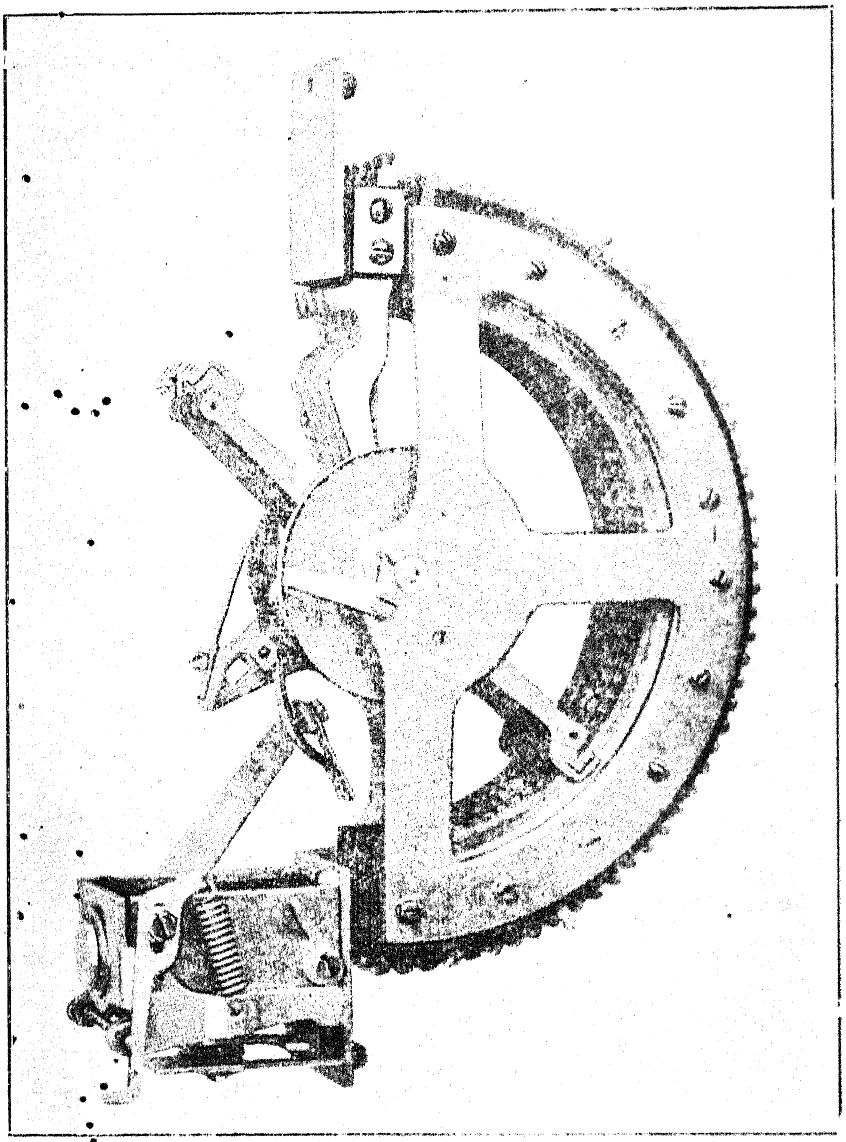


Fig. 3. — Commutateur à 51 directions

par une roue à rochet, un cliquet et un électro, mais il peut être continu et provoqué par l'intermédiaire d'un arbre tournant en permanence et d'un embrayage, comme dans le système Rotary par exemple. En général on préférera l'entraînement par cliquet car il est

plus indépendant, le mouvement plus rapide (60 à 70 contacts par seconde) et l'arrêt s'effectue de façon plus précise.

L'orientation du sélecteur est, avons-nous vu, commandée par le commutateur de contrôle et selon le nombre d'impulsions que ce der-

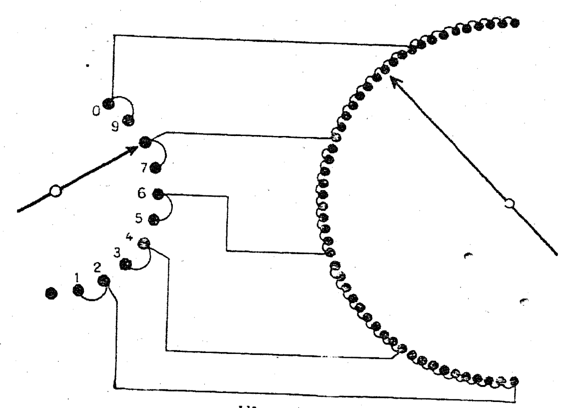


Fig. 4.

nier reçoit, c'est-à-dire selon la position que prend le commutateur de contrôle.

Pour ce faire, le sélecteur possède une rangée supplémentaire de

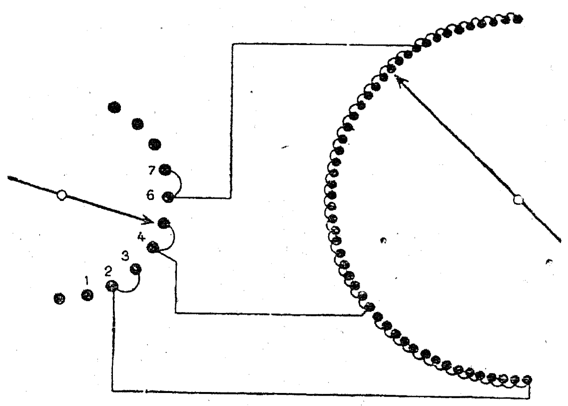


Fig. 5.

contacts dits « contacts d'orientation ». Ces contacts sont réunis par groupes et reliés aux contacts du commutateur de contrôle, comme vous le voyez sur les figures 4, 5. Le commutateur de contrôle, par la position qu'il occupe, met un certain potentiel sur un groupe de contacts d'orientation du sélecteur, potentiel qui déterminera l'orienta-

tion de celui-ci, d'abord sur le premier de ces contacts qu'il rencontrera, puis sur les suivants si la ligne qui correspond à ce premier contact est occupée. Le mouvement du sélecteur se prolongera ensuite jusqu'à ce que ses frotteurs trouvent une ligne libre dans le groupe correspondant. S'il ne trouve pas de ligne libre, le frotteur dépasse le groupe de contacts placé à un certain potentiel par le commutateur de contrôle et le sélecteur donne le signal « pas libre » à l'abonné demandeur; dans le cas d'emploi d'enregistreurs, le frotteur poursuit sa rotation et renouvelle aux tours suivants l'exploration des lignes du groupe considéré jusqu'à ce qu'il trouve une ligne libre.

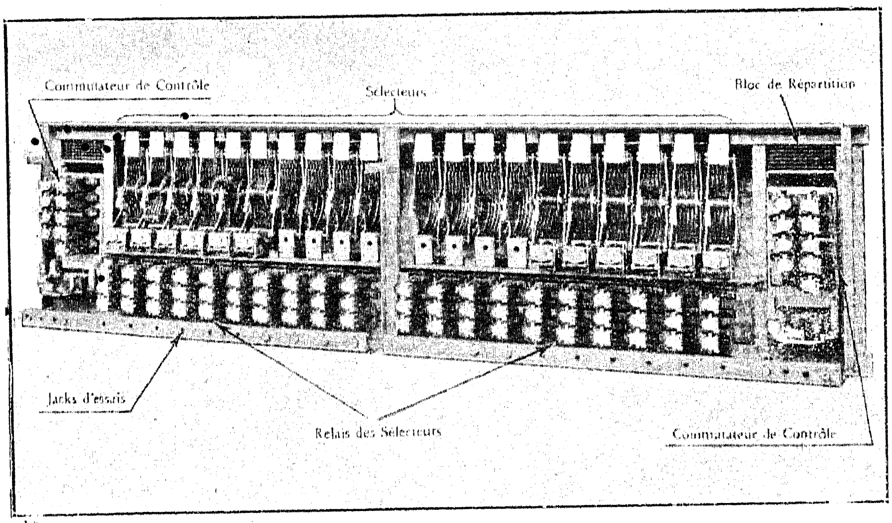


Fig. 6. — Rangée de 20 sélecteurs

Nous voyons donc que toutes les lignes étant distribuées en suivant sur le banc du sélecteur il n'y a aucune relation obligatoire entre la position et le nombre de contacts d'orientation groupés d'une part, et les contacts du commutateur de contrôle d'autre part.

Si l'on dispose par exemple de 100 contacts dans le banc du sélecteur, on pourra diviser ces 100 contacts en :

— 10 groupes de 10

— 25 groupes de 4

— 4 groupes de 20, plus 2 groupes de 10, etc.

en un mot la division peut être parfaitement quelconque et complètement irrégulière. Dans le cas où le nombre des groupes est supérieur à 10 le sélecteur est orienté par l'envoi de plusieurs chiffres ou même par un chiffre sur certains groupes et par deux ou trois sur d'autres.

Cette particularité du système est un de ses avantages les plus marqués.

Dans les systèmes actuels où les contacts sont disposés par niveaux, le nombre de groupes possible et le nombre de contacts est fixé une fois pour toutes par construction, il est immuable.

Dans le système Strowger c'est 10 groupes de 10 lignes, dans le Rotary c'est 10 groupes de 20 ou 30 lignes. Dans le système Strowger par exemple, quand on a dans un central téléphonique moins de groupes que 10, les contacts sont mal utilisés, ainsi dans un réseau

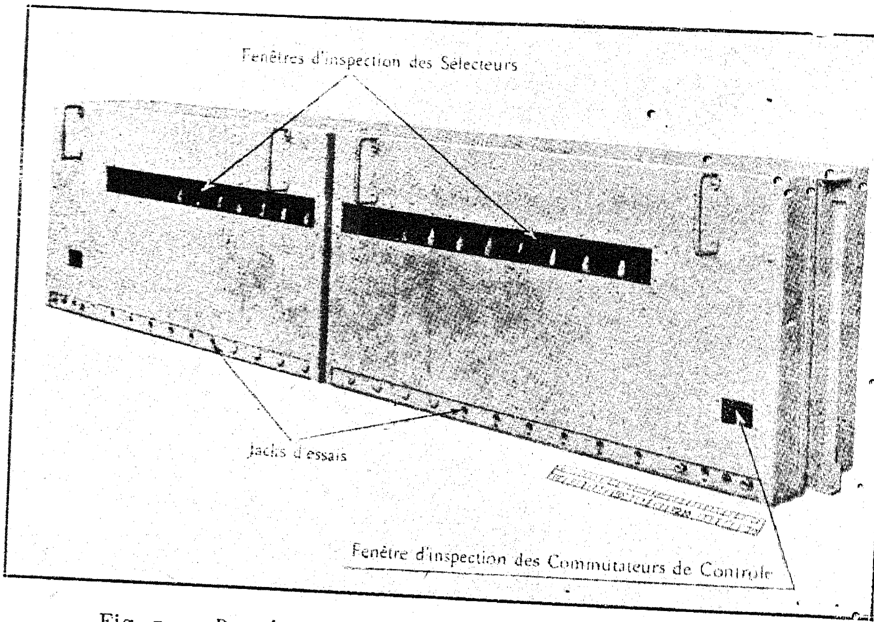


Fig. 7. — Rangée de 20 sélecteurs sous coffret de protection

de 3 000 abonnés, le premier sélecteur qui doit choisir le mille, n'utilise que 3 niveaux, soit les 3/10 de ses contacts. Quand au contraire, on a besoin de plus de groupes que le nombre fixé, on est amené à recourir aussitôt à un étage de sélection supplémentaire. Par exemple dans un réseau de 1 400 abonnés il faudra mettre des sélecteurs de mille, de centaines et des sélecteurs finals.

Dans le système R-6 au contraire on utilise toujours les contacts en totalité et cela dans les meilleures conditions possibles. Dans le premier exemple (réseau de 3 000 abonnés) le premier sélecteur aura 3 groupes de 33 lignes, les sélecteurs de centaines seront choisis par groupes de 33 au lieu de groupes de 10 et c'est environ 40 % des sélecteurs qu'on économisera ainsi, sans recourir à aucun artifice. Dans

le second exemple (réseau de 1 400 abonnés) le sélecteur de centaines pourra être à 150 contacts et divisé en 14 groupes : 10 groupes de 11 lignes, plus 4 groupes de 10 lignes; on économisera ainsi tout un étage de sélection : les sélecteurs de mille.

Dans les grands réseaux cette économie possible porte sur les lignes auxiliaires qui relient entre eux les divers centraux du réseau et dont le coût représente une fraction très importante du prix de l'installation.

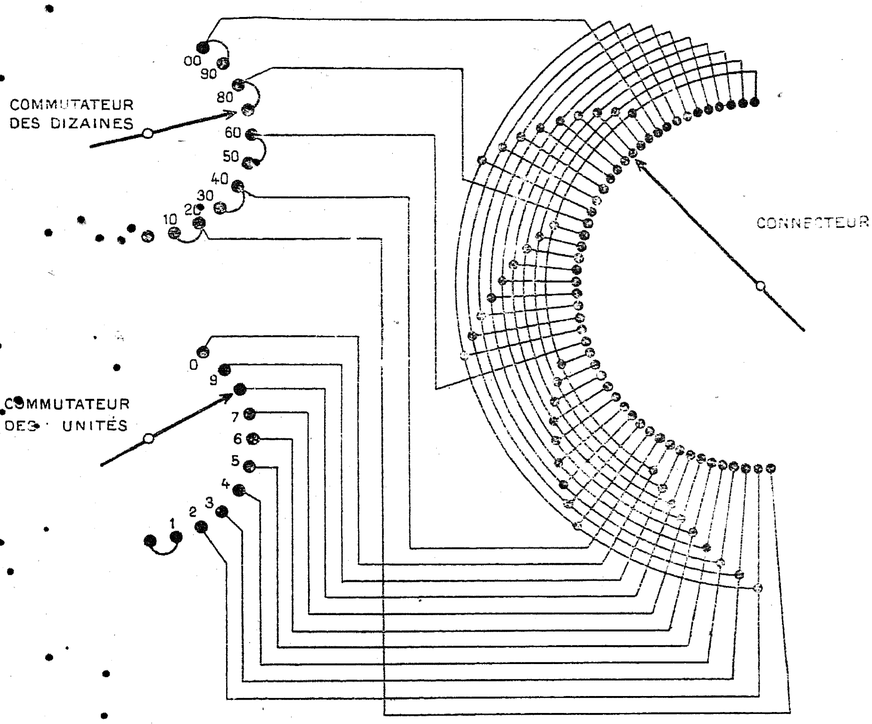


Fig. 8. — Câblage d'un sélecteur de ligne normal.

Le sélecteur final ou sélecteur de lignes est un cas particulier du sélecteur que nous venons de décrire. C'est un sélecteur qui comporte 100 groupes et dans lequel le commutateur de contrôle reçoit deux chiffres (celui des dizaines et celui des unités) soit sur deux commutateurs rotatifs, soit sur un seul; dans ce cas, l'orientation du sélecteur sur la dizaine se produit entre la réception des deux chiffres.

En général ces 100 groupes ont une ligne chacun, mais lorsque ces groupes correspondent à des abonnés à plusieurs lignes ils en ont plusieurs. Dans les autres systèmes on ne peut généralement pas dépasser 10 lignes par abonné sous un même n° d'appel, la sélection ne

pouvant être réalisée facilement que sur un seul niveau. Dans le système R-6 au contraire on peut avoir autant de lignes qu'on veut sous un même n° d'appel. Une conséquence curieuse et bien caractéristique du système, est que, dans un sélecteur de lignes R-6 le nombre de groupes est 100, mais le nombre de lignes peut dépasser 100 (150 par exemple représentant 50 abonnés à une ligne et 50 abonnés à 2 lignes) si bien que l'on peut disposer de plus de lignes que de numéros d'appel. On pourrait ainsi dans un réseau R-6 de 10 000 numéros raccorder 15 000 lignes d'abonnés tout en n'ayant que 4 chiffres d'appel.

Jusqu'alors, nous ne nous sommes pas préoccupés d'un facteur important, c'est le facteur « temps » qui joue un rôle plus ou moins grand selon les dispositions prises pour la commande des sélecteurs.

Il y a deux manières de commander les sélecteurs, manières qui permettent de classer les systèmes automatiques en deux catégories :

1° les systèmes à commande directe.

2° les systèmes à enregistreurs.

Dans les systèmes à commande directe, chaque sélecteur qui entre dans l'établissement d'une communication reçoit directement du poste appelant, le ou les chiffres qui doivent l'orienter.

Dans les systèmes à enregistreurs, les impulsions du poste appelant sont reçues par un organe situé avant le 1[er] sélecteur et appelé « enregistreur » et qui enregistrera sur des organes appropriés la combinaison numérique qui correspond au poste demandé. Cet enregistreur renverra ensuite, transformée ou non, la combinaison numérique reçue, sur les divers étages de sélection qui seront utilisés pour l'établissement de la communication.

Remarquons en passant que dans certains systèmes, les sélecteurs groupent 200 à 500 abonnés sur leur banc de contacts; le n° demandé étant envoyé en base décimale par l'abonné demandeur, et la sélection devant s'opérer par groupes de 200 ou de 500, on est contraint d'utiliser un enregistreur pour traduire la combinaison reçue en base décimale, en une série de chiffres de composition tout à fait différente.

Dans les systèmes à commande directe, pour que chaque sélecteur puisse recevoir le chiffre qui doit l'orienter, il est nécessaire que le sélecteur précédent soit lui-même définitivement orienté pour que l'abonné demandeur se trouve relié au sélecteur considéré. Or, le temps qui s'écoule entre l'envoi de deux chiffres successifs peut être extrêmement court, pour peu que l'abonné manœuvre son cadran avec rapidité. Ceci revient à dire que le temps dont dispose le sélecteur pour s'orienter et qui est l'intervalle entre l'envoi de deux chiffres consécutifs, est très court.

Dans les systèmes à enregistreurs au contraire, on dispose pour cette orientation de tout le temps désirable, car ce n'est plus l'abonné qui commande le sélecteur, mais l'enregistreur qu'on peut établir pour n'envoyer tel chiffre que sous réserve que le sélecteur qui doit le recevoir soit déjà inséré dans la communication.

L'enregistreur est un organe qui vient s'ajouter aux sélecteurs et qui est d'une assez grande complication comme on peut se l'imaginer vu son rôle. Aussi les systèmes à commande directe sont en général plus simples que les systèmes à enregistreurs, et il semble à première vue que ceux-là soient plus intéressants que ceux-ci.

Cependant si nous considérons un abonné A d'un grand réseau tel

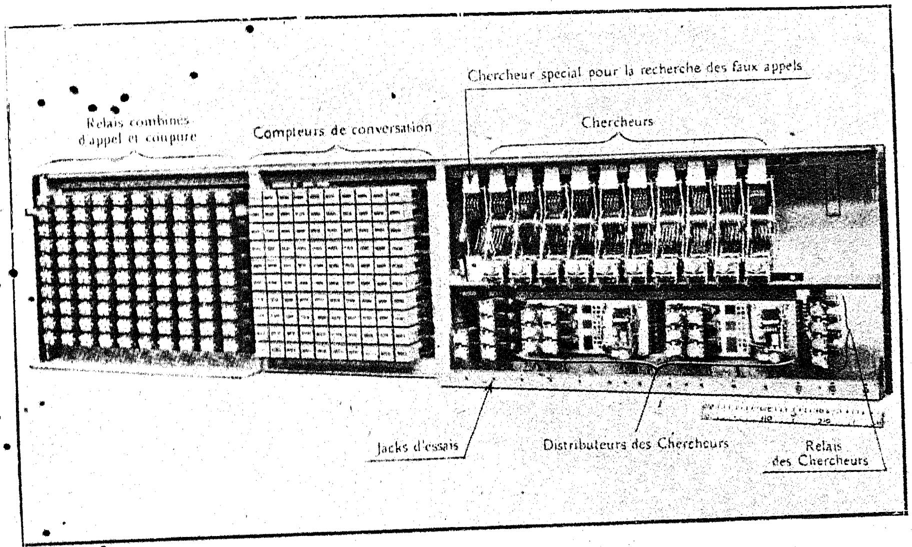


Fig. 9 — Rangée de chercheurs primaires. — Côté organes

que celui de Paris ou de certaines grandes villes de province où les abonnés sont raccordés à de nombreux centraux, et si nous voulons éviter de relier tous ces centraux 2 à 2, ce qui conduirait à une dépense exagérée de lignes de jonction, selon que cet abonné A sera demandé par un autre abonné plus ou moins éloigné de lui, la communication transitera par un nombre plus ou moins grand de centraux, c'est-à-dire que cette communication empruntera un nombre plus ou moins grand de sélecteurs. Autrement dit, le n° demandé A étant toujours le même quelle que soit l'origine de la comunication, on devra traduire ce numéro en un autre qui comprendra un nombre de chiffres variable tantôt moindre, tantôt plus grand que celui du n° demandé et ce, selon la position de l'abonné demandeur.

On obtient partiellement ce résultat dans les systèmes à commande directe par divers artifices, les discriminateurs en particulier, mais pour obtenir la solution générale de ce problème, il faut employer les enregistreurs. Malgré la complication que ceux-ci introduisent, on réalise, par leur emploi, une économie très importante sur le coût des lignes de jonction entre bureaux.

Aussi, en fait, les systèmes à commande directe et les systèmes à enregistreurs ont l'un et l'autre leur champ d'application pour lequel ils conviennent le mieux.

En général, on emploiera les systèmes à commande directe dans les réseaux de petite et moyenne importance, et les systèmes à enregistreurs dans les très grands réseaux.

Le système R-6 a été étudié dès son origine en vue de son application à l'une et à l'autre de ces deux catégories de systèmes et il s'y prête également bien.

Le sélecteur R-6 à commande directe doit être disposé pour que la sélection s'opère dans un temps très court. L'association du commutateur de contrôle au sélecteur ne peut satisfaire cette condition sans quelques artifices particuliers au système.

Le temps de la sélection varie comme le chiffre envoyé, il est plus long pour le « 9 » que pour le « 8 » ou le « 7 » par exemple. Il est donc nécessaire que les déplacements du sélecteur soient sensiblement proportionnels au chiffre reçu; à cet effet le sélecteur R-6 à commande directe part, à l'origine de chaque communication, d'une position de repos dès l'instant où la première impulsion est reçue par le commutateur de contrôle et explore successivement les divers groupes de lignes dans leur ordre numérique. De plus, pour avoir des champs de sélection économiques, c'est-à-dire grands, il faut que la vitesse d'exploration soit grande. Comme on ne peut augmenter indéfiniment la vitesse de rotation des frotteurs du sélecteur, on réduit le chemin à parcourir en explorant simultanément deux ou plusieurs lignes, ce qu'on obtient en donnant au sélecteur deux ou plusieurs séries de frotteurs et les moyens d'utiliser selon les cas, telle ou telle de ces séries de frotteurs.

Le sélecteur R-6 à enregistreurs ne nécessite pas ces combinaisons particulières, il n'y a qu'une série de frotteurs et pas de position de repos, aussi, malgré l'extrême simplicité du sélecteur à commande directe (qui ne nécessite que 3 relais), le sélecteur R-6 à enregistreurs est-il encore plus simple, il en résulte que la complication introduite par les enregistreurs se trouve largement compensée par la

simplification des sélecteurs et que l'emploi du R-6 en combinaison avec des enregistreurs peut être envisagé dans des cas où, malgré l'économie de lignes qu'auraient fait réaliser les enregistreurs, on aurait auparavant reculé devant la complication de ceux-ci, pour adopter un système à commande directe.

Ajoutons que tous les problèmes qui se posent chaque jour plus nombreux en téléphonie automatique sont résolus dans le système R-6 et en général d'une manière très simple : comptage multiple et à temps, liaisons entre bureaux, satellites, exploitation sur circuits interurbains, etc., dans les détails desquels je ne puis entrer ici.

Tel se présente le système R-6 dont nous pourrons, pour conclure, résumer les principaux avantages, avantages qu'il tire des deux points principaux suivants : séparations des fonctions de sélection commandée et de sélection libre, disposition des lignes sur le sélecteur à la suite les unes des autres et non par niveaux.

Ces avantages sont :

— Sa sécurité de fonctionnement grâce à la séparation des fonctions de sélection commandée et de sélection libre. — Sa souplesse de groupement et d'adaptation aux cas les plus divers par suite de la disposition des lignes à la suite les unes des autres. — Sa simplicité due, d'une part, à la conception de ses organes qui sont mécaniquement simples, et d'autre part à la concentration sur quelques organes (les commutateurs de contrôle) des fonctions les plus délicates. — L'uniformité de ses organes qui, quels qu'ils soient : chercheurs, présélecteurs, sélecteurs ou commutateurs de contrôle, sont tous des commutateurs rotatifs.

— La facilité de construction du système. — Son prix peu élevé (comparé à un matériel de qualité égale et fabriqué dans les mêmes conditions). — Son encombrement réduit (encombrement dû au petit nombre d'organes et à leur faible complication, mais non à la réduction des dimensions de ces organes, réduction qui conduirait à une fabrication plus précise, donc plus chère et à un entretien plus délicat). Enfin son entretien faible et facile, susceptible d'être assuré par un personnel peu nombreux et rapidement initié.

C'est pourquoi le système R-6 a pris dès ses débuts, un développement considérable, développement que n'ont connu aussi rapide aucun des systèmes antérieurs. Ce développement qui va s'accentuer encore au cours des prochaines années, sera dû pour une part sérieuse également aux services compétents de l'Administration des Postes et

Télégraphes qui, reconnaissant les mérites du R-6 ont tenu à en faire le système « standard » pour les réseaux de province et à s'assurer la possibilité de le faire fabriquer par tous les constructeurs français de téléphonie en vue de son application à ces réseaux.

Aussi devons-nous nous réjouir de voir que grâce à la collaboration des constructeurs français et des services de l'Etat, le système R-6 d'invention française, contribuera pour une bonne part à l'amélioration de notre outillage téléphonique et deviendra un des éléments de notre activité nationale.

LES ENDUITS ET REVÊTEMENTS EMPLOYÉS EN ARCHITECTURE, ÉTUDIÉS DANS LEURS RAPPORTS AVEC LA TECHNIQUE DE L'ÉCLAIRAGE (1)

par MM. Maurice LEBLANC, *Président de l'Association des Ingénieurs de l'Eclairage,* P. BARBE, J. DOURGNON, A. GROULT, P. LAURENT, P. NOEL et Ph. WAGUET.

Conformément à l'esprit dans lequel a été créé l'Association des Ingénieurs de l'Eclairage, sa Commission d'Etude des enduits et revêtements s'est proposée de résoudre des questions d'ordre essentiellement pratique en faisant appel à la collaboration des divers corps de métiers intéressés à la solution d'un même problème.

Dans l'éclairage intérieur, le rôle des parois et par conséquent des revêtements, est fondamental. Même dans le cas où il n'a été prévu aucun dispositif particulier, par exemple dans le cas classique d'un diffuseur fixé au plafond, tout l'ensemble de la pièce concourt à l'effet d'éclairage.

Mais il faut reconnaitre que, d'une part, les architectes et décorateurs ignorent généralement les effets d'éclairage qu'ils peuvent attendre de tel ou tel revêtement, et que d'autre part, les ingénieurs de l'éclairage ne connaissent pas les différents types de revêtements qui sont à leur disposition, ni comment ils peuvent les utiliser.

Le but de la Commission d'Etude des enduits et revêtements est de remédier en partie à cet état de choses en réunissant dans une étude d'ensemble tous les renseignements qui peuvent être utiles dans la pratique tout en leur donnant une base scientifique solide. On s'est adressé pour cela à un certain nombre de spécialistes qui ont bien voulu fournir une importante contribution. Il a été nécessaire de réunir tout d'abord toutes les connaissances utiles que l'on possédait sur la question, puis afin de combler certaines lacunes, de provoquer des recherches nouvelles (tant théoriques qu'expérimentales) sur certains points particulièrement importants. Quelques-unes de ces recherches ont été déjà entreprises, d'autres sont sur le point de l'être. L'objet du présent rapport est d'exposer aussi bien que possible l'état actuel de la question.

L'étude des enduits et revêtements soulève d'importantes questions de colorimétrie ou de photométrie hétérochrome; afin de sérier les questions, ces problèmes ont été pour le moment, laissés délibérément de côté.

Ce rapport n'est donc que le préambule d'un exposé plus général et plus complet qui, dans l'état actuel de la question ne paraît pas pouvoir être actuellement rédigé. Nous espérons qu'il suscitera de nouveaux travaux intéressants et qu'il permettra dès maintenant de déterminer les meilleures méthodes à utiliser dans un certain nombre de cas particuliers.

---

(1) Rapport établi par la Commission d'Etudes des enduits et revêtements de l'Association des Ingénieurs de l'Eclairage et présenté le 24 novembre 1930 par M. Maurice LEBLANC, Président de l'Association, à la semaine de discussions de novembre, de la Société Française des Electriciens.

SOMMAIRE.

I. — GÉNÉRALITÉS

L'éclairage d'un local clos peut être considéré comme un équilibre entre le flux (1) émis par les sources et le flux absorbé par la surface des parois et des objets.

Si nous désignons par α le facteur d'absorption moyen des parois et objets, par f le flux émis par les sources et par F le flux total qui atteint les parois et objets on devra avoir :

$$f = \alpha F$$

α étant par définition toujours inférieur à 1, le flux F sera toujours supérieur au flux f. Autrement dit, « le flux que reçoivent les parois et objets d'une pièce est toujours supérieur au flux émis par les sources ». Par exemple, si l'absorption moyenne est de 10 %, le flux F est de 10 fois supérieur au flux f (2).

Supposons que nous mettions dans une enceinte ayant un facteur de réflexion élevé, une certaine quantité de lumière, celle-ci ne sera pas immédiatement absorbée. Si le facteur d'absorption pouvait même être rigoureusement nul, la quantité de lumière s'y maintiendrait indéfiniment; la salle se trouverait ainsi éclairée sans qu'aucune nouvelle dépense d'énergie soit nécessaire.

Mais ce sont là des vues théoriques qui nous montrent cependant tout l'intérêt que présentent au point de vue économique les revêtements ayant un facteur de réflexion très élevé. Comme pratiquement, toutes les tentures absorbent un flux lumineux notable, nous ne pour-

(1) Il n'est peut-être pas inutile, pour la compréhension de la suite de cette étude, de rappeler que la quantité de lumière est une énergie, alors que le flux lumineux est une puissance : le flux est homogène à une quantité de lumière divisée par un temps.

(2) Il est bien évident que dans la pratique on arrivera difficilement à des résultats aussi intéressants, le parquet presque toujours de couleur sombre, diminuant forcément le facteur de réflexion moyen. Il n'en reste pas moins que, sauf dans le cas particulier d'un éclairage entièrement direct, le rôle des parois est essentiel; le flux lumineux qui atteint le plafond et les murs étant généralement supérieur à celui qui atteint directement le plan utile.

rons nous éclairer sans consentir à dépenser une puissance correspondant au flux absorbé par les tentures, les objets et les personnes.

On ne saurait toutefois limiter à l'éclairage des intérieurs le bénéfice qui résulte de l'emploi des revêtements clairs. Une voie publique sera d'autant mieux éclairée que les façades des immeubles qui la bordent seront plus claires. Dans l'éclairage par projection des monuments et des façades, ceux-ci se détacheront beaucoup mieux sur le fond obscur du ciel et pour une dépense moindre de courant.

Il est donc du plus haut intérêt de connaître les propriétés optiques des matériaux, des enduits et revêtements utilisés tant à l'intérieur pour les plafonds et les murs, qu'à l'extérieur pour les façades.

On appelle facteur de réflexion d'une surface donnée, le rapport du flux total réfléchi au flux total incident. Nous distinguons le facteur de réflexion spéculaire et le facteur de réflexion diffuse, le premier étant le rapport du flux réfléchi spéculairement au flux incident et le second, le rapport du flux réfléchi diffusé au flux incident.

La difficulté, qu'on oublie généralement de soulever, consiste à fixer le critérium qui permettra de séparer ces flux l'un de l'autre.

Si l'on considère l'indicatrice de réflexion d'une surface plane semi-mate pour une inclinaison donnée des rayons incidents, on constate bien que l'intensité est maxima dans la direction qui correspondrait à la réflexion spéculaire, mais il n'y a aucune discontinuité ; or, pour que le flux réfléchi dans cette direction, dans un angle solide théoriquement nul, ait une valeur finie, il faudrait que l'intensité réfléchie fût infinie. Ces résultats peuvent s'expliquer par les conditions dans lesquelles se font obligatoirement les expériences.

En effet, dans la pratique, les rayons incidents ne peuvent être rigoureusement parallèles (1), ils proviennent d'une source placée à une certaine distance de la surface réfléchissante plane. Les rayons réfléchis régulièrement semblent venir de l'image de la source, ils ne sont pas non plus rigoureusement parallèles, ils forment un cône dont l'ouverture est égale à l'ouverture du cône incident.

Quand on relèvera l'indicatrice de réflexion, on trouvera donc une pointe de grande intensité, mais pourtant de valeur finie, dans une ouverture très faible, mais également de valeur finie.

Quelle définition donner du flux régulièrement réfléchi ? Pour une surface plane, le flux régulièrement réfléchi est celui transporté par des ondes sphériques ayant pour centre le symétrique de la source lumi-

(1) Sinon le flux incident serait obligatoirement nul.

neuse par rapport à la surface. Ce flux est donc celui pour lequel la loi de variation en raison inverse du carré de la distance s'applique en comptant la distance à partir de l'image de la source.

Le flux diffusé est celui transporté par des ondes sphériques ayant pour centres tous les points de la surface. L'éclairement dû au flux diffusé, à une distance suffisamment grande de la surface pour qu'on puisse ne pas tenir compte de ses dimensions vis-à-vis de la distance, se calcule au contraire en comptant la distance à partir de la surface (1).

Au point de vue de l'éclairage, la surface seule des parois intervient, ou plus exactement une couche d'épaisseur très mince qui dépasse rarement 1 ou 2 millimètres. Cette couche peut être rapportée ou bien être simplement la surface externe de la paroi plus ou moins préparée, nous l'engloberons sous le nom générique d'enduit et revêtement. Il est d'ailleurs toujours possible de réaliser des revêtements, au sens ordinaire du mot, avec des matériaux servant plus habituellement à la constitution des murs : pierres, briques, etc...

L'aspect d'un revêtement (peinture ou papier peint par exemple) dépend souvent de l'état des surfaces sous-jacentes. Or, cet aspect peut jouer un grand rôle en éclairage, spécialement quand il s'agit d'éclairage en rayons rasants. Nous serons donc amenés à étudier ces surfaces sous-jacentes et leur action sur le revêtement proprement dit.

La surface brute des parois peut être de bois, de plâtre, de pierre, de brique, de ciment, de métal, etc... Cette surface peut, soit être laissée brute, soit être préparée, soit encore recouverte d'une des matières précédemment étudiée, ou encore être recouverte d'une peinture, d'un papier peint, d'une étoffe, etc... Aucune barrière ne venant entraver la fantaisie des constructeurs, on conçoit qu'une étude complète soit impossible. Un ensemble de documents qui sera autant que possible tenu à jour a pourtant été réuni par la Commission. Nous nous contenterons d'indiquer ici les matériaux et les procédés les plus usuels.

Notre exposé ne comportera donc aucun élément nouveau pour les hommes de l'art, puisqu'il a simplement pour but de donner quelques indications sur la nature des surfaces dont nous voulons étudier les propriétés optiques.

II. — EXÉCUTION DES SURFACES PLANES ET GALBÉES.

L'exécution des surfaces présentant le moins d'irrégularités possible, dépend à la fois du maçon et du peintre. Très souvent, on laisse

(1) W. DZIOBEK, Diffuse und direkte Durchlässigkeit und Methoden zur Messung derselben, Zeitschrift für Physik, vol. 46, page 307, 1928.

toute la responsabilité du résultat à ce dernier. C'est là une pratique qui peut avoir de graves inconvénients avec certains éclairages (rayons rasants). C'est pourquoi nous dirons quelques mots sur les procédés qui paraissent les meilleurs pour obtenir la surface sous-jacente la plus lisse possible.

Nous limiterons notre exposé au cas des plafonds qui, jusqu'à présent tout au moins, présentent à ce point de vue le plus d'importance (1).

Les renseignements fournis pour les plafonds pourront d'ailleurs s'appliquer en partie aux murs.

Les plafonds sont le plus souvent constitués d'un enduit de plâtre recouvrant, ou bien un lattis en bois lui-même fixé sur les solives du plancher (solives en bois, en fer ou en béton armé) ou bien un hourdis de plâtras.

Parfois dans des travaux où la rapidité de livraison des locaux constitue le problème prédominant, on emploie des planches de staff ou des planches-plâtres qui, fabriquées à l'avance sont sèches lors de la pose et peuvent recevoir immédiatement la peinture.

Le plâtre au contraire a besoin de sécher un assez long temps (4 à 6 semaines en été, et 10 à 15 en hiver).

Plafonds en platre.

Ce mode de construction qui est le plus ancien, et encore de nos jours le plus employé, comprend deux phases : la première est un dégrossissage en plâtre gros ou « plâtre à panier » appliqué soit sur un lattis, soit sur un hourdis en plâtre et plâtras, ou en terre cuite, soit sur une dalle en béton armé ; la deuxième est un finissage au plâtre fin, ou « plâtre au sas » que le maçon applique sur le premier enduit.

Le compagnon maçon établit d'abord des « nus ».

Ce sont des lignes de repères parallèles en plâtre qui sont faites très soigneusement de niveau et dans un même plan horizontal, entre lesquelles le compagnon maçon « jette son plafond » et le « taloche ». Les nus servent au maçon à « talocher » le plâtre régulièrement, c'est-à-dire que grâce à eux il se rend compte s'il met trop de plâtre ou s'il n'en met pas assez. Lorsque le plâtre commence à faire « sa prise » le maçon pose sur le plafond une règle perpendiculairement aux nus, pour se rendre compte s'il y a des parties creuses ou des parties saillantes.

Il les égalise au moyen de la « berthelet », sorte de grattoir à dents,

(1) Depuis quelque temps, l'éclairage des murs semble entrer dans la pratique. C'est là une technique souvent assez délicate, mais qui est susceptible de donner des résultats très intéressants.

puis vérifie à nouveau avec la règle s'il reste encore des imperfections. Ce travail ayant lieu forcément alors que le plâtre est encore frais, la berthelet laisse des stries sur le plafond, stries formées de petits grains de plâtre. Le maçon gratte le plafond avec sa berthelet dans le sens perpendiculaire à ces stries pour les corriger, mais il reste néanmoins des granulations visibles, que le peintre fera disparaître lors de son travail, puisqu'à ce moment le plafond sera sec.

On peut exécuter des plafonds en plâtre à modeler, plâtre qui offre l'avantage de faire prise très rapidement et de sécher presque instantanément.

Par contre, cette rapidité de prise ne permet de l'employer que par petites parties, ce qui multiplie le nombre de dénivellations éventuelles entre les différentes parties du plafond, dénivellations qui sont immédiatement accusées par l'éclairage rasant.

Plafonds en staff ou analogues.

Les plafonds en planches de staff ou en planches-plâtre, sont composés d'éléments préparés à l'avance dont les dimensions normales sont 1 m × 0,33 m × 0,025 m.

Ces éléments sont des plaques de plâtre moulé sur des armatures en fibre ou en bois.

Ces plaques peuvent être clouées sur des solives en bois, fixées par crochets sur des solives en fer, ou encore fixées sur des armatures en bois disposées à une certaine distance du plancher.

Les staffeurs les fixent par des clous galvanisés et garnissent les joints avec du plâtre fin ou du plâtre à modeler qu'ils égalisent avec une spatule de façon à ne pas accuser le joint.

Toutefois, ce procédé s'il a l'avantage de permettre de peindre immédiatement le plafond a l'inconvénient de ne pouvoir donner un plafond parfaitement plan, les différentes plaques ne pouvant mathématiquement se trouver dans le même plan horizontal. De plus, le chauffage fait généralement jouer plus ou moins les différents éléments et les joints réapparaissent tôt ou tard sous les apprêts du peintre.

Le plafond en plâtre au contraire peut (avec de l'habileté de la part du compagnon maçon) être plan.

Peinture des plafonds.

Le travail du peintre n'a pas pour objet de faire un plafond horizontal d'un plafond qui ne l'est pas. Mais le travail préparatoire du peintre

doit faire disparaître les défauts que le maçon n'a pu enlever parce qu'il travaillait dans un matériau trop frais.

Le peintre procède d'abord à un ponçage à l'aide d'une cale en bois garnie de papier de verre. Dans les travaux très soignés, il emploie du papier de verre à grain très fin dans le but de faire disparaître tous les grains de plâtre que la berthelet du maçon avait laissés. Il procède ensuite à l'impression, puis à l'application d'un enduit repassé au blanc de zinc dont on verra plus loin la nature. Ce travail se décompose en deux opérations, la seconde effectuée perpendiculairement au sens de la première. Enfin après avoir à nouveau poncé cet enduit, il exécute la peinture du plafond.

Lorsque l'on doit aménager un éclairage indirect par foyers situés très près du plafond dans des anciennes constructions, le travail du peintre est très délicat, puisqu'il travaille sur des plafonds dont il ne connaît pas la qualité.

Il doit, par un lessivage très soigné, dépouiller le plafond des anciennes peintures avant de passer les apprêts au mastic et à la colle. Il fait ensuite autant d'enduits qu'il est nécessaire pour remplir les parties concaves.

On considère à ce moment que le travail est au même point que lorsque le maçon livre un plafond neuf, parfaitement exécuté. Le peintre procède donc alors au ponçage et à l'impression, puis il passe une couche de peinture brillante qui met en valeur les défauts et permet de les rectifier à la colle avant de faire les enduits. Le travail se continue alors comme dans le cas de plafonds neufs.

Lorsqu'il s'agit de peindre des plafonds en staff ou en planches-plâtre, avant de procéder à l'impression, il est prudent de coller sur l'ensemble du plafond des bandes de calicot dans le but de faire disparaître du mieux que l'on peut les joints des éléments qui ont été employés.

III. — PEINTURES ET VERNIS.

Le rôle du peintre consiste :

1° — à rendre aussi unie que possible la surface qui lui est livrée avec des irrégularités inhérentes à sa nature.

2° — à donner à la surface l'aspect et la couleur définitifs.

La première de ces opérations s'exécute en appliquant des enduits et en pratiquant des ponçages.

Enduits.

L'enduit à la colle n'est employé que dans des cas particuliers.

Il prend communément le nom de « gros blanc ». Il est le seul dont on puisse user en forte épaisseur (au maximum 1 cm) son but est de *redresser des surfaces déformées.*

Son emploi consiste à charger fortement la surface considérée.

Un premier dégrossissage s'opère avec une cale de bois parfaitement dressée et garnie de gros papier de verre.

Un second et un troisième ponçages sont effectués d'une manière analogue en se servant de papier de verre de plus en plus fin à chaque opération, ils ont pour but de parfaire au dressage de la surface en effaçant les rayures laissées par l'opération précédente.

L'enduit au gros blanc est spécialement employé dans les apprêts de dorure et sur les parties cylindriques (fût de colonne) ou sphériques, où un enduit au couteau est impossible.

L'enduit à la colle se compose de colle de peau et de blanc de Meudon.

Les enduits à l'huile sont de deux sortes : l'enduit gras et l'enduit maigre.

L'enduit gras (communément appelé « ratissage ») s'emploie pour les travaux ordinaires, directement sur le plâtre ou la pierre sans impression préalable. (Il ne peut s'employer sur le plâtre lisse et sur le staff où il n'adhère pas). Sa composition est la suivante : Huile de lin, blanc de Meudon, et blanc métallique, zinc ou céruse, pour faciliter l'emploi.

L'enduit maigre offre une adhérence et une solidité maxima ; il est employé sur des fonds préalablement imprimés ou sur d'anciennes peintures apprêtées. Sa composition diffère essentiellement de la précédente en ce que l'essence de térébenthine y est substituée à l'huile de lin en grande proportion, et que le blanc de Meudon y est en majeure partie remplacé par du blanc de zinc. Elle est la suivante :

60 0/0 de blanc de zinc.
30 0/0 de blanc de Meudon.
7 0/0 d'essence.
3 0/0 d'huile.

L'enduit au vernis se caractérise par sa dureté une fois sec. Il est employé dans les travaux de peinture polie et ne peut être poncé qu'à

l'eau et à la pierre (ancienne technique de la carrosserie). Sa composition est la suivante :

Ocre en poudre : 25 0/0
Céruse en poudre : 50 0/0
Poudre d'ardoise : 25 0/0
Tous les enduits sont poncés.

Ponçages sur enduits. — Les ponçages sur enduits s'effectuent à sec au papier de verre.

Sauf dans le cas indiqué ci-dessus à propos des enduits au « gros blanc » ces ponçages n'ont pas pour but de dresser les surfaces.

Ponçages à sec.

a) Sur des anciennes peintures à l'huile mal lissées, ils atténuent les grains et font disparaître les mauvais effets.

b) Sur des bois neufs, ils suppriment les peluches soulevées par l'impression.

c) Sur les enduits, ils font disparaître les traces de couteau (coutures) et les grains qui peuvent accidentellement s'y trouver.

PEINTURES.

Les travaux d'apprêt étant terminés, on arrive à l'application de la peinture qui donnera à l'ouvrage l'aspect définitif.

Les éléments constitutifs des peintures sont :

1° — La couleur proprement dite ou « pigment » se présentant sous l'aspect solide pulvérisé pour faciliter le broyage.

2° — L'élément liquide ou « véhicule » servant au broyage des couleurs et à les délayer au moment de l'emploi.

PEINTURE A L'HUILE DEMI-BRILLANTE	Zinc . . . . . . 500 g Huile . . . . . 400 » Essence. . . . . 100 » Siccatif suivant cas.	
PEINTURE A L'HUILE MATE . .	Zinc . . . . . . 500 g Huile. . . . . . 200 » Essence. . . . . 300 » Siccatif suivant cas	

Peinture a l'huile mate pochée	Zinc . . . . . . 500 g Huile. . . . . . 200 » Essence. . . . . 300 » Siccatif suivant cas.	Le pochage est une opération qui consiste à frapper régulièrement et perpendiculairement au plan de la surface, la peinture fraîchement appliquée avec une brosse dite « à pocher » pour obtenir un léger grain.
Ripolin et autres	»	Peinture manufacturée dont la préparation constitue un secret de fabrication.
Peinture vernissée. . . .	Zinc . . . . . . 670 g Standoline . . . 150 » Vernis cristal. . 150 » Siccatif . . . . 30 »	La « standoline » ou huile hollandaise : huile de lin ayant subi une préparation spéciale. Elle est verdâtre, très visqueuse et d'une siccativité presque nulle.
Peinture a la colle ou badigeon ou caséine . .	Blanc de Meudon. 500 g Eau . . . . . . 400 » Colle de peau . . 100 »	
Fresque.	Couleurs en poudre. Eau.	Coloration et fixation de la couleur par absorption du mortier de chaux.
Silicate.	Silicate . . . . 600 g Oxyde pierreux . 400 »	

Les procédés modernes d'application au pistolet permettent en outre de varier l'aspect de la peinture par le grain qu'on lui donne.

On obtient des surfaces parfaitement lisses en projetant la peinture pulvérisée sous une forte pression.

En réduisant la pression, la peinture est projetée sous forme de fines gouttelettes, et la surface prend alors un aspect que l'on compare à celui d'une pelure d'orange... (cette technique remplace dans bien des cas et toujours avantageusement l'ancien procédé du pochage).

En réduisant encore la pression de l'air par rapport à l'arrivée de peinture, on projette de véritables gouttes par la juxtaposition desquelles on obtient les effets les plus variés.

Ponçages a l'eau.

Certains ponçages s'exécutent sur la peinture finie. Ce sont les ponçages à l'eau qui s'exécutent soit avec de la ponce en poudre, soit avec de la ponce en pierre.

Ponçages à la ponce en poudre.

S'opèrent sur les vernis pour leur enlever de l'éclat (ils sont généralement suivis d'un encausticage).

Ponçages à la ponce en pierre.

Ce travail est spécial aux travaux polis (très onéreux parce qu'il exige beaucoup de main-d'œuvre). Il s'exécute sur teinte dure (peinture détrempée au vernis), il a pour but de dresser les fonds; on dégrossit ordinairement à la pierre ponce pour terminer à la pierre factice.

(Cette pierre factice est un aggloméré de ponce en poudre d'un grain uniforme; c'est à cause de cette régularité qu'on la préfère à la pierre ponce naturelle).

IV. — MATÉRIAUX PIERREUX. (1)

Les matériaux de construction employés dans la décoration peuvent être divisés en 3 classes :

1° Matériaux naturels.
2° Matériaux artificiels.
3° Enduits.

Matériaux naturels.

Ce sont les roches extraites du sol et que nous classerons au point de vue de l'éclairage en 2 groupes.

A. — Les pierres susceptibles d'être polies, mais qui peuvent être également employées sans poli.

B. — Les pierres qui ne peuvent être employées que bouchardées ou ravalées.

On appelle *roche* une pierre très dure et quelquefois coquilleuse à grain serré.

(1) Une classification très complète des pierres utilisées en construction a été faite par M. Pierre Noel. L'étude complète sera utilisée pour des recherches ultérieures. Nous en donnons seulement ici un résumé.

Le *liais* est une pierre de bas appareil ne contenant aucune empreinte de coquille.

Le *banc franc* est moins dur que la roche et d'un grain plus fin et plus égal, sans parties coquilleuses ni empreintes.

On donne le nom de *banc royal* aux bancs les plus fins d'une carrière. Le banc royal est moins dur que le banc franc.

Le *vergelé* est un banc à grains irréguliers formé le plus souvent de l'agrégation d'un sable calcaire rubanné de veines teintées.

Les *marbres* sont des calcaires à grain fin et compact généralement opaques, parfois cristallins et même translucides. Ils présentent rarement une teinte uniforme. On distingue alors :

a) Les portors, marbres noirs à veines jaune ou or.

b) Les brèches, marbres composés de débris de marbres plus anciens, anguleux, agglutinés ensemble par un ciment de même espèce.

c) Les brocatelles, brèches à petits éléments.

d) Les lumachelles, marbres formés d'un grand nombre de coquillages et de madrépores que l'on distingue facilement et qui sont agglutinés ensemble par un ciment calcaire.

Matériaux artificiels.

Les matériaux artificiels comprennent les briques et carreaux céramiques d'une part, et les briques et carreaux agglomérés d'autre part.

Produits céramiques.

a) Briques de Bourgogne blanche, rouge, rose et brune.
— Dizy crème, rouge, aquarelle, lux, ton cuit.
— Feucherolles rouge et rose.
— Gournay rouge et blanche.
— Sannois rouge et jaune.
— émaillées blanches.

b) Carreaux Auneuil, carrés rouges, blancs et gris, terre cuite.
— Beauvais rouges.
— Saint-Just rouges, blancs, crèmes.

Cérames non vitrifiés.
— Pont Sainte Maxence jaunes, noirs et rouges.
— Saint-Just blancs, jaunes, bruns et noirs.

Cérames vitrifiés blancs, gris, jaunes, bruns, rouges, bleus, verts.
Céramiques à dessins blancs, gris, jaunes, bruns, rouges, bleus, verts.
Faïence blanche, bordures et plinthes jaunes, bleues, vertes, marrons.

PRODUITS AGGLOMÉRÉS.

a) Briques amiantine blanche, pierre claire, grise, rouge, rose, jaune et bleue.

Briques silico-calcaire, blanche, pierre claire, grise, rouge, rose, jaune et bleue.

Carreaux en ciment comprimé unis blancs, gris, jaunes, rouges, noirs à dessins toutes couleurs.

Carreaux en mosaïque marbre et ciment comprimé uni ou à dessins.

ENDUITS.

Les enduits sont des produits préparés avant leur emploi sur le chantier et qui s'utilisent soit simplement délayés dans l'eau, soit mélangés ou « gâchés » dans l'eau avec un autre corps destiné généralement à durcir le revêtement.

Produits que l'on emploie simplement avec l'eau.

Le plâtre, le plâtre aluné, le stuc, le sable mortier coloré, métalline, cimentaline, pierreline, etc...

Les enduits en stuc peuvent être polis.

Les enduits en sable mortier, métalline, pierreline, etc... peuvent être grésés.

Les produits que l'on emploie avec de l'eau et un autre corps.

1° Les enduits en ciment de Portland composés en moyenne de 800 kg de ciment pour 1 m³ de sable de rivière.

2° Les enduits en chaux hydraulique de Beffes ou similaires composés en moyenne de 350 kg de chaux pour 1 m³ de sable de rivière.

3° Les enduits en mortier bâtard, composés en moyenne de 200 kg de chaux, 380 kg de ciment pour 1 m³ de sable de rivière.

4° Les enduits en ciment pierre, ciment blanc et poudre de pierre composés de 800 kg de ciment pour 1 m³ de sablon.

Ces enduits peuvent être employés soit lissés à la truelle, soit simplement talochés, soit jetés du balai (enduit tyrolien).

Les enduits en ciment pierre peuvent être passés au chemin de fer et grésés.

5° Les dallages magnésiens, acajou, chêne clair, chêne foncé, orange, ton pierre.

V. — REVÊTEMENTS DÉCORATIFS.

Il n'est pas possible de dresser un état complet des matériaux susceptibles d'être employés comme revêtements muraux pour la décoration intérieure parce que, d'une part, les décorateurs modernes se sont surpassés dans la recherche et l'emploi des matériaux les plus inattendus pour la décoration des murs, et que, d'autre part, la plupart des espèces de revêtements muraux renferment une telle quantité de familles et chaque famille une telle variété de types, que toute nomenclature ne peut être qu'incomplète. Nous nous sommes contentés de dresser un état succinct des matériaux les plus employés.

Matériaux naturels d'origine animale.

Peaux tannées (veau, vache, mouton) unies, décorées, gaufrées ; parchemin de mouton, de chèvre; peaux parcheminées de poisson (galuchat); peaux de crocodiliens, de sauriens, d'ophidiens.

Matériaux naturels d'origine végétale

Bois d'œuvre durs. — Chêne, orme, hêtre, noyer massif ou placage.

Bois blancs. — Peuplier, bouleau, tilleul, platane, sycomore, érable.

Bois fins. — Poirier, pommier, merisier.

Bois résineux. — Pin, sapin, cèdre.

Bois exotiques. — Acajou, ébène, palissandre, bois de rose, pilma, amaranthe, amboine, etc.

Matériaux fabriqués. — Tissage.

Toile de lin, de jute, de coton, tous coloris toile métis, toile de coton glacée (chintz).

Impression sur toile de lin, de jute, de coton, de coton glacée (chintz) sur toile métis.

Soieries (soie naturelle). — Toile de soie, taffetas, faille, gros grain, satin.

Soieries façonnées. — Damas, lampas, brocatelle.

Soieries imprimées.

Soieries (soie artificielle). — Articles similaires aux articles en soie naturelle.

Velours. — Velours coton uni tous coloris, velours moair uni tous

coloris, velours de soie naturelle uni tous coloris, velours de soie artificielle uni tous coloris, velours de jute tous coloris.

Velours imprimés. — Sur mêmes matériaux qu'en uni.

Panne de coton unie ou décorée.

Panne de soie unie ou décorée.

Peluche de coton —

Peluche de soie —

Tissus divers. — Tissu d'or, tissu de perle, tissu de crin, sparterie.

Divers. — Tapisserie de haute ou basse lisse.

Papiers. — Papier coloré en pâte, papier peint uni : papier peint imprimé, papier gaufré, papier satiné, papier velouté, papier métallique, métaux en poudre et en feuille, papier bois, papier paille, grass cloth.

Matériaux fabriqués d'origine ignée.

Faïence unie ou décorée, porcelaine unie ou décorée, grès cérame uni ou décoré, pâte de verre unie ou décorée, mosaïque unie ou décorée, glace étamée et décorée par gravure à l'acide, à la roue, au sable, glace étamée unie (dorure, argenture), glace décorée (fixé sur glace).

VI. — METHODES DE MESURE DES FACTEURS DE RÉFLEXION

Il n'est pas question d'exposer ici d'une façon complète toutes les méthodes de mesure des facteurs de réflexion. Cette question justifiant à elle seule un rapport complet. Nous nous contenterons d'indiquer succinctement les méthodes qui paraissent les meilleures.

Pour déterminer le facteur de réflexion régulière, c'est-à-dire le rapport de l'intensité lumineuse de l'image à l'intensité lumineuse de la source, on peut employer un photomètre basé sur le principe de Lord Rayleigh. On produit, au moyen d'une lentille L, une image de la source lumineuse S (fig. 1). En plaçant l'œil au point où se fait cette image, que nous supposerons être plus petite que la pupille, le flux qui entre dans l'œil est proportionnel à l'éclairement que produirait la source sur un écran occupant la place de la lentille. Il est évident que si nous visons la source par réflexion sur une surface plane, seuls les rayons ayant subi une réflexion régulière contribueront à la formation de l'image et interviendront, à une correction près, dans la mesure photométrique.

Le mode opératoire est le suivant. Au moyen d'un photomètre monté pour fonctionner suivant le principe de Lord Rayleigh, on vise dans la surface à étudier l'image S' d'une lampe S placée à une certaine distance et éclairant la surface sous un angle donné. On exécute une

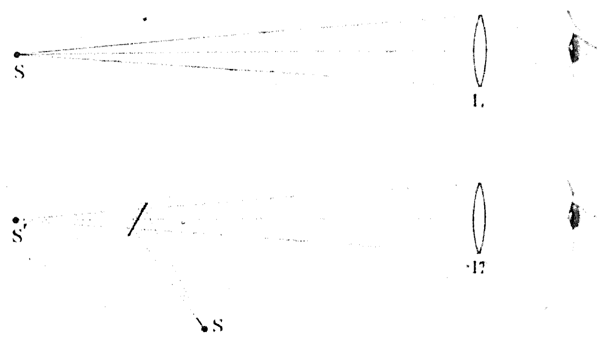


Fig. 1.

mesure photométrique, soit δ le nombre proportionnel à l'intensité lumineuse mesurée. On supprime la substance étudiée et on place la lampe qui servait à l'éclairer au point où devait se former son image (symétrique de sa position par rapport au miroir plan que constituait la substance étudiée). On exécute une nouvelle mesure photométrique, soit δ' la mesure. Le facteur de réflexion régulière est :

$$\rho_r = \frac{\delta}{\delta'}.$$

Il est nécessaire d'apporter une correction à la première mesure δ.

En effet, étant donné le faible flux lumineux réfléchi spéculairement, un peu de lumière diffusée impressionne l'œil pendant la mesure. On déplace légèrement la surface à étudier de façon que l'image ne se forme plus dans le photomètre. On effectue une mesure photométrique, soit δ_1 cette mesure. Le facteur de réflexion régulière est ;

$$\rho_r = \frac{\delta - \delta_1}{\delta'}.$$

Pour la mesure du facteur total de réflexion (lequel est la somme du facteur de réflexion régulière et du facteur de réflexion diffuse) on dispose d'une petite sphère présentant une ouverture plane O sur laquelle on applique la substance à étudier (fig. 2). Dans une tubulure latérale se trouve une lentille L qui concentre sur la surface à étudier les rayons lumineux émanés d'une petite lampe S. Une fenêtre translucide F est disposée dans la paroi et elle est visée au moyen d'un photomètre

de brillance. Un écran E placé à l'intérieur de la sphère empêche les rayons diffusés par la substance d'atteindre directement la fenêtre. On effectue une mesure photométrique, soit α la lecture. On substitue à la substance à étudier une plaque parfaitement diffusante dont le fac-

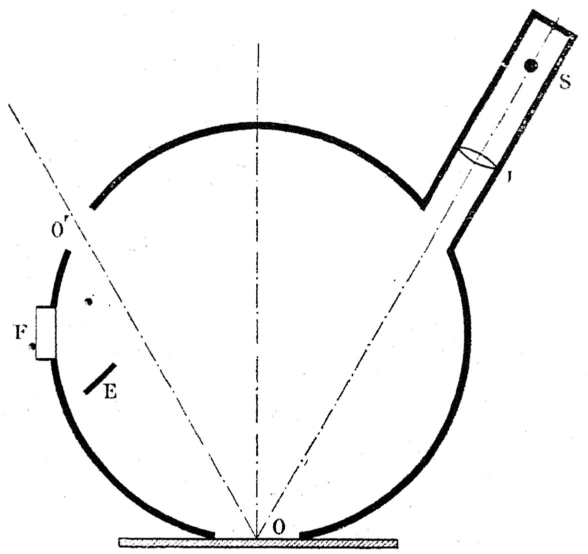


Fig. 2.

teur de réflexion ρ' est connu. On effectue une nouvelle mesure photométrique, soit α' la lecture. Le facteur total de réflexion ρ est donné en valeur relative par la relation :

$$\frac{\rho}{\rho'} = \frac{\alpha}{\alpha'}.$$

On peut encore opérer de la façon suivante (1). On remplace la surface à essayer par la calotte suivant laquelle la sphère a été coupée et dont le facteur de réflexion est celui de la sphère. On retire le petit écran E de façon que la fenêtre reçoive directement les rayons réfléchis. On effectue dans ces conditions une mesure photométrique, soit β la lecture. Le facteur total de réflexion est alors donné en valeur absolue par la relation :

$$\rho = \frac{\alpha}{\beta}.$$

En effet, dans la mesure avec l'écran, le flux qui atteint la fenêtre

(1) A-H. TAYLOR. A simple portable instrument for the absolute measurement of reflexion and transmission factors, « Scientific papers of the Bureau of Standards ». Vol. XVII, p. 1, 1920.

est proportionnel à $\rho\rho_1 f$, f étant le flux projeté dans la sphère dont le facteur de réflexion est ρ_1 : dans la mesure sans écran, il est proportionnel à $\rho_1 f$: le rapport est bien égal à ρ.

Pour la mesure de facteur de réflexion diffuse, on débouche une petite ouverture O' symétrique par rapport à la normale à l'éprouvette de la tubulure qui sert à projeter le faisceau lumineux (1). Si cette ouverture est suffisamment grande, le faisceau réfléchi spéculairement s'échappe et le flux que les parois de la sphère reçoivent est uniquement le flux diffusé.

Dans toutes ces mesures, il est important de définir l'angle d'incidence du faisceau lumineux sur la substance à étudier ainsi que la nature de la source lumineuse employée et de donner si possible sa température de coloration ou son coefficient d'efficacité. On sait en effet que le facteur de réflexion des matériaux colorés dépend essentiellement du rayonnement des sources éclairantes.

Il faut aussi spécifier l'épaisseur de l'échantillon sur lequel on a expérimenté, car le facteur de réflexion diffuse d'un enduit pelliculaire croît avec l'épaisseur de la pellicule et devient pratiquement constant seulement à partir d'une certaine épaisseur.

Un matériau mat est « neutre » si le facteur de réflexion diffuse est indépendant de la longueur d'onde de la lumière. Ce matériau réfléchit en proportions égales toutes les radiations lumineuses qu'il reçoit, la lumière diffusée a la même teinte que la lumière incidente. Le corps prend donc la lumière incidente. Les matériaux mats qui paraissent « colorés » lorsqu'ils sont éclairés par de la lumière blanche sont des matériaux qui absorbent certaines radiations et diffusent la teinte complémentaire de celles qu'ils absorbent.

Une étude complète des matériaux diffusants exige le tracé de ce que l'on appelle l'indicatrice de diffusion. C'est une surface obtenue en portant à partir du point d'incidence dans la direction d'émission un vecteur proportionnel à la brillance. Si le corps diffuse parfaitement la lumière, l'indicatrice de diffusion est un cercle. Le tracé de l'indicatrice se fait avec un faisceau incident de lumière parallèle et on mesure la brillance de la surface au moyen d'un photomètre de brillance.

Au point de vue de l'éclairage, les grandeurs qui sont considérées comme nécessaires pour caractériser d'une manière approchée un

(1) L. Bloch. Verfahren für die Messung der eigenschaften Lichtstreunder gläser. Recueil des travaux et compte rendu des séances de la septième session de la Commission internationale de l'éclairage p. 990, 1928.

matériau, sont les facteurs de réflexion spéculaire et diffuse pour l'incidence normale, les angles d'incidence de 30° et 60° et l'incidence rasante.

La connaissance du facteur de réflexion en lumière diffuse est très intéressante, mais sa détermination est assez difficile, nous n'insisterons donc pas.

Soit E l'éclairement d'un élément plan d'une surface éclairée, B sa brillance dans une direction α. On appelle *facteur de diffusion* de la surface dans la direction α la grandeur

$$\delta = \pi \frac{B}{E}.$$

Le facteur de diffusion est égal au facteur de réflexion quand la surface réfléchit suivant la loi de Lambert. Dans le cas général, le facteur de diffusion n'est égal au facteur de réflexion que dans une direction privilégiée.

Il arrive souvent pourtant que des expérimentateurs non avertis confondent ces deux notions. Il est absolument essentiel de les séparer si l'on ne veut pas arriver à des résultats parfois absurdes. Ainsi rien ne s'oppose à ce que le facteur de diffusion soit supérieur à l'unité, ce qui est évidemment impossible pour le facteur de réflexion,

VII. — ETUDE DES SURFACES GRANULÉES ET GAUFRÉES.

Une surface qui ne présenterait absolument aucune aspérité donnerait probablement uniquement de la réflexion spéculaire. En réalité, toute surface présente une granulation plus ou moins accusée, et ce sont les dimensions de ces granulations qui conditionnent les phénomènes de réflexion.

Si les irrégularités sont très nettement inférieures aux longueurs d'onde du rayonnement incident, on continue à avoir de la réflexion régulière quoique celle-ci s'accompagne toujours d'un peu de diffusion. Si les irrégularités ont des dimensions supérieures à celles des longueurs d'onde, chaque facette renvoie un pinceau dans une direction donnée. On a encore de la réflexion régulière, mais si les irrégularités sont cependant assez petites pour être invisibles à l'œil, tout se passe comme si à chaque rayon incident correspondait une infinité de rayons réfléchis, la réflexion est diffuse et la surface lisse est mate.

Rappelons que la diffusion est complète quand la surface présente

toujours la même brillance sous tous les angles d'observation (loi de Lambert).

Les irrégularités de la surface peuvent être telles qu'elles soient nettement visibles à l'œil. On peut donner une représentation de ce genre de surface en imaginant un tissu serré, qui peut être mat ou brillant et que l'on froisserait. Le facteur de réflexion de ce tissu devra être mesuré sur un échantillon plan. Si l'on fait une mesure sur le tissu froissé, on n'obtient plus le facteur de réflexion, mais une grandeur inférieure qui dépend à la fois du facteur de réflexion du tissu et de la forme géométrique qu'il affecte. C'est ce qu'on peut appeler le *rendement de la réflexion* du système.

Il ne faut pas songer à pouvoir mettre en équation le phénomène général qui se passe quand un faisceau lumineux tombe sur un système de ce genre. Mais il est un cas particulier où le calcul est possible, c'est celui d'une surface mate présentant des irrégularités telles

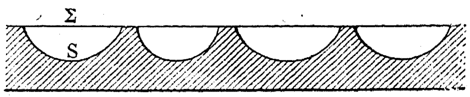


Fig. 3.

que celles représentées sur la figure 3 et éclairée de telle sorte que l'éclairement soit le même en tous les points des cuvettes. Dans ces conditions, si ρ est le facteur de réflexion, Σ l'aire de la surface plane, S l'aire totale des cuvettes, le rendement de la réflexion est (1) :

$$\frac{\rho \frac{\Sigma}{S}}{1 - \rho\left(1 - \frac{\Sigma}{S}\right)} = \xi'\rho.$$

En appelant ξ', le facteur de correction externe dû aux irrégularités de la surface, c'est le nombre par lequel il faut multiplier le facteur de réflexion pour avoir le rendement. Dans le cas général cette formule ne peut évidemment s'appliquer, mais on admet que, pour un même type d'éclairage incident et une même nature de surface (le pigment étant seul différent), le facteur de correction varie en fonction du facteur de réflexion suivant une loi telle que :

$$\xi' = \frac{A}{1 - B\rho},$$

(1) J. Dourgnon et P. Waguet, Optique des surfaces diffusantes, Bulletin de la Société Française des Electriciens, 4e série, tome IX, p. 939, septembre 1929.

A et B étant deux constantes purement géométriques à déterminer empiriquement et de la connaissance desquelles on pourrait déduire *à priori* l'effet d'un pigment déterminé sur une peinture définie appliquée d'une façon également définie.

Des surfaces ayant en chaque point même facteur de réflexion, mais présentant des cavités de formes et de dimensions différentes ont même rendement à condition que le rapport $\frac{\Sigma}{S}$ soit le même pour toutes ces surfaces.

En pulvérisant une peinture sous des pressions différentes de façon à faire varier la grosseur des gouttelettes projetées, on peut obtenir des surfaces graineuses pour lesquelles le rapport $\frac{\Sigma}{S}$ est sensiblement le même. L'expérience a permis de constater que ces surfaces, pourtant d'aspects différents, avaient effectivement même rendement aux erreurs d'expérience près. Les essais ont été effectués sur trois éprouvettes de peinture à l'huile et trois éprouvettes de peinture à l'eau, présentant des grains de forme aplatie dont le diamètre moyen était respectivement de 0,5, 1 et 2 millimètres (1). La peinture à l'huile était crème et le rendement de la réflexion était de 0,78 ; la peinture à l'eau était blanche et le rendement était de 0,84.

Il importe de remarquer que dans le cas particulier qui nous occupe, en raison des valeurs élevées tant du facteur de réflexion ρ que du rapport des surfaces $\frac{\Sigma}{S}$, une variation notable de ce rapport entraîne une variation inappréciable du rendement de la réflexion, comme le lecteur pourra s'en rendre compte lui-même en faisant une application numérique. Il était utile d'insister sur ce point que des expériences actuellement en cours sur une gamme d'éprouvettes doivent permettre de préciser d'une façon définitive.

Ce qui précède peut tout au plus s'appliquer aux surfaces mates. Les surfaces brillantes et irrégulières se prêtent encore plus mal à analyse.

VIII. — DEGRÉ D'OPACITÉ ET FACTEUR DE COUVERTURE

En ce qui concerne les papiers, les peintures, les émaux et d'une façon plus générale tous les matériaux de faible épaisseur, il est intéressant de connaître leur opacité.

(1) Ces éprouvettes avaient été spécialement préparées en vue de cette vérification par les soins de M. Pierre Laurent.

On sait en effet, que certaines peintures blanches, telles que les peintures à l'huile à base de céruse couvrent, et que d'autres, telles que les peintures à l'eau au blanc de Meudon ne couvrent pas. On dit, en termes de métier, qu'une peinture « couvre », quand elle cache parfaitement les dessous, c'est à-dire lorsque le pigment reste opaque lorsqu'il est en suspension dans le véhicule.

Nous appelons « degré d'opacité » d'un enduit pelliculaire pour une épaisseur donnée, le rapport de la brillance d'un fond noir à la brillance d'un fond blanc également éclairés sur lesquels cet enduit a été déposé.

Le degré d'opacité, pour une épaisseur donnée, dépend de la nature du pigment (céruse, lithopone, blanc de zinc, blanc de Meudon) et du véhicule (huile de lin, eau). Lorsqu'une peinture couvre parfaitement, son degré d'opacité est égal à l'unité.

Pour mesurer cette grandeur, on procède de la façon suivante (1). On dispose d'une plaque circulaire dont une moitié est en verre opaque

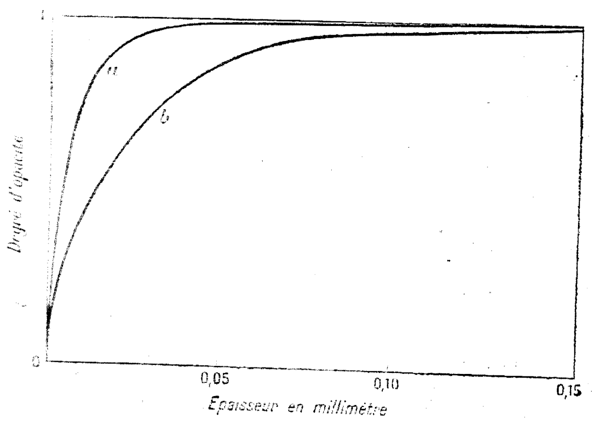


Fig. 4. — Courbes de variation du degré d'opacité en fonction de l'épaisseur de l'enduit (d'après H. D. Bruce)
a) d'une peinture émaillée (jaune de chrome);
b) d'une peinture mate (blanc de plomb).

blanc et l'autre moitié en verre opaque noir. La surface de la plaque est légèrement dépolie. On étend sur cette plaque une couche de la peinture à essayer et on laisse sécher. On a, d'autre part, une petite sphère blanche présentant une ouverture contre laquelle on applique l'éprouvette de telle sorte que la ligne de séparation des deux plages soit un diamètre. Des petites lampes éclairent l'intérieur de la sphère

(1) H.-D. Bruce. A photometric method for measuring the hiding of paints. « Technologic papers of the Bureau of Standards », vol. XX, p. 173, 1926.

et des écrans sont disposés de façon que la plaque ne reçoive que la lumière diffusée par les parois. Au moyen d'un brillancemètre, on mesure la brillance de chaque plage de l'éprouvette. Si l'on porte en abscisse l'épaisseur du milieu pelliculaire mesurée au palmer et en ordonnée le degré d'opacité, on obtient une courbe asymptotique (fig. 4). Cette courbe est extrêmement instructive, elle indique l'épaisseur à partir de laquelle le degré d'opacité est pratiquement égal à l'unité. Elle indique par conséquent l'épaisseur minimum de la pellicule de peinture à appliquer sur un fond quelconque, pour que celui-ci ne soit pas visible au travers. Le « pouvoir de couverture » d'une peinture est le nombre de mètres carrés susceptibles d'être recouverts dans ces conditions, avec un kilogramme de peinture.

IX. — VALEURS NUMÉRIQUES DE QUELQUES FACTEURS DE RÉFLEXION

Les déterminations ont été effectuées au moyen de l'appareil intégrateur précédemment décrit (1). La source lumineuse était une lampe à atmosphère gazeuse consommant 25 watts, sous une tension de 6 volts. Le facteur d'efficacité était d'environ 20 lumens par watt, et l'angle d'incidence du faisceau de 30 degrés.

Les tableaux suivants donnent le facteur total de réflexion d'un certain nombre de matériaux couramment utilisés. L'ordre dans lequel ils se suivent est celui de la classification de M. Pierre Noel.

A. — MATÉRIAUX NATURELS

Désignation des matériaux	Facteur total de réflexion matériau sec	matériau humide
Marbre blanc	0,83	0,82
Savonnière fine	0,67	0,41
Banc franc de Méry-sur-Oise	0,64	0,44
Banc franc de Carrières sur-Seine	0,62	0,41
Roche d'Anstrude	0,61	0,39
Roche de Comblanchien	0,56	0,35
Roche d'Euville	0,54	0,38
Ardoise	0,10	0,09

(1) Les mesures ont été faites par M. Philippe Waguet au Laboratoire Central d'Electricité, avec l'appareil qu'il a spécialement établi pour ce genre de recherches.

B. — MATÉRIAUX ARTIFICIELS

a) Briques et carreaux céramiques

Désignation des matériaux	Facteur total de réflexion matériau sec	Facteur total de réflexion matériau humide
Carreau de faïence blanche	0,70	0,70
Brique émaillée blanche	0,69	0,69
Brique de Dizy jaune	0,45	0,29
Brique de Dizy rouge	0,20	0,12

b) Briques agglomérées.

Brique amiantine blanche (Choisy-le-Roi)	0,62	0,46
Brique silico-calcaire blanche (Nogent-sur-Marne)	0,60	0,43

C. — ENDUITS

Plâtre de Paris	0,88	0,74

D. — REVÊTEMENTS DÉCORATIFS

Les nuances indiquées dans les tableaux ci-dessous ont été relevées dans les catalogues de la Maison Rochefort qui a eu l'obligeance de fournir les échantillons.

a) *Teintes en pâte.*

1° — *Teintes en pâte non frictionnées utilisées comme papiers de tenture ou d'apprêt.*

La surface de ces papiers était mate et légèrement graineuse.

Nuance.	Facteur de réflexion.
Blanc	0,69
Crème	0,69
Paille	0,65
Bouton d'Or	0,58
Jaune Empire	0,55
Avignon	0,54
Vieil Or	0,37
Vert Céladon	0,54
Beige	0,42

Nuance	Facteur de réflexion.
Vert pré	0,39
Vert pois	0,29
Vert mousse	0,25
Vert feuille	0,20
Vert amande	0,19
Vert d'Irlande	0,16
Vert lierre	0,11
Bengale	0,60
Rose chair	0,57
Orange	0,39
Écarlate	0,29
Rouge vif	0,27
Andrinople	0,20
Grenat	0,12
Havane clair	0,37
Brique	0,31
Cachou	0,23
Sienne	0,15
Bis journal	0,42
Bis chiffon	0,32
Toile écrue	0,41
Toile bistre	0,24
Gris perle	0,42
Hortensia	0,49
Bleuté	0,42
Vieux bleu	0,16
Bleu paon	0,15
Bleu vif	0,15
Bleu violacé	0,11
Outrêmer	0,09
Noir	0,08

2° Teintes en pâte frictionnées utilisées comme papier de tenture lavable.

La surface de ces papiers était lisse et légèrement brillante.

Nuance.	Facteur total de reflexion,
Blanc sanitaire	0,73
Blanc ordinaire	0,67
Chamois	0,65
Vert d'eau	0,48
Rose	0,49
Rouge	0,25
Bleu	0,44

b) Papiers imprimés.

Papiers imprimés unis utilisés comme papiers de tenture décoratifs.

La surface de ces papiers était mate et graineuse.

Nuance	Facteur de réflexion
Blanc neige	0,76
Blanc ivoire	0,67
Canari	0,67
Véronèse	0,23
Vert persan	0,18
Vert forêt	0,12
Vert Empire	0,09
Tango	0,36
Rouge chinois	0,20
Solférino	0,19
Pompéi	0,16
Amarante	0,12
Magenta	0,12

Nuance	Facteur total de réflexion
Chamois	0,46
Bois	0,28
Gris Trianon	0,48
Pierre	0,37
Gris pigeon	0,30
Gris tourterelle	0,30
Gris argent	0,28
Gris ardoise	0,19
Bleu azur	0,26
Bleu pastel	0,12
Bleu nattier	0,09
Bleu roy	0,05
Violet	0,07
Noir d'ébène	0,04

X. — CONCLUSION

L'étude photométrique que nous avons entreprise des matériaux utilisés dans la construction et la décoration n'est qu'ébauchée ; d'après le programme que nous nous sommes fixés, elle doit en effet comprendre :

1° Détermination des facteurs de réflexion diffuse et de réflexion spéculaire en lumière diffuse et en lumière dirigée, indicatrices de réflexion.

2° Étude comparative des différentes surfaces dites blanches.

3° Étude des surfaces gaufrées, ondulées ou granulées, influence réciproque du gaufrage et du pigment coloré, vérification de la théorie.

4° Recherche d'une technique pour la détermination des indicatrices de diffusion et des facteurs de réflexion en incidence rasante.

5° Détermination du pouvoir de couverture d'un certain nombre de peintures.

6° Étude de l'influence de l'échauffement sur les peintures.

7° Établissement d'une carte d'échantillons colorés.

Comme l'a montré tout ce qui précède, seuls les paragraphes 1 et 3 ont été entamés. Nous nous efforcerons de continuer nos travaux malgré l'extrême difficulté de faire exécuter des recherches expérimentales dans un but désintéressé et de présenter dans un avenir prochain une plus abondante moisson de résultats. Nous espérons que ceux que nous venons de donner seront déjà de quelque utilité pour les praticiens.

OBSERVATIONS SUR LES UNITÉS MAGNÉTIQUES

Par M. E. BRYLINSKI (1).

J'ai signalé brièvement à la 6e Section du Comité lors de sa dernière réunion, les décisions adoptées en juillet dernier, à Stokholm puis à Oslo, par la Commission électrotechnique internationale en ce qui concerne les unités magnétiques. Le sujet est assez important pour justifier quelques observations.

I. — La C.E.I. a décidé de donner les noms suivants à certaines unités magnétiques du système électromagnétique C.G.S. :

unité de flux d'induction magnétique (Φ) . . . . *maxwell*
d° d'induction magnétique ($\mathcal{B}$). . . . . *gauss*
d° d'intensité de champ magnétique ($\mathcal{H}$) . . . . *oersted*
d° de force magnétomotrice (2) ($\mathcal{F}$). . . . . *gilbert*

Elle a estimé qu'il n'y avait, pour le moment, lieu de donner de nom à aucune autre unité magnétique.

Elle a admis enfin que les unités magnétiques du système pratique pourraient être dénommées par leur nom dans le système C.G.S. précédé du préfixe *pra*, savoir :

pramaxwell
pragauss
praoersted
pragilbert

parce qu'il n'en résultait aucune création de nom nouveau et que ces dénominations complémentaires ne nécessitaient aucun effort de mémoire.

II. — Il n'est pas inutile de rappeler que c'est le Congrès international d'électricité de Paris (1900) qui a décidé que les unités magnétiques usuelles seraient celles du système électromagnétique C.G.S. et qu'il serait attribué des noms de savants à celles d'entre elles qu'on ne pouvait laisser anonymes.

(1) Rapport présenté le 28 novembre 1930 à la 7e Semaine de Discussions.
(2) La notation $\mathcal{F}$. employée par M. Kennelly à Stockholm et Oslo prête à confusion avec le symbole accessoire du flux d'induction.

Je reviendrai tout à l'heure sur ces deux points, qui ont soulevé d'ardentes critiques, me bornant à signaler tout de suite que ce Congrès était régulièrement constitué, que ces questions y ont été régulièrement discutées, que les résolutions y ont été régulièrement prises, de telle sorte que les décisions ainsi adoptées ont la même force que celles des Congrès antérieurs, même sur les points où elles modifient partiellement ces dernières.

Malheureusement il s'était produit en 1900 un malentendu en ce qui concerne l'attribution du nom de *gauss*.

C'est sur l'insistance de la délégation américaine, qui a rallié la majorité à sa manière de voir, que le nom de *gauss* a été admis ; mais la délégation américaine entendait qu'il fût attribué à l'unité *d'induction*. Seulement elle a employé une expression « magnetic field density » d'une imprécision telle que l'on a cru qu'il s'agissait du *champ*. La confusion a été facilitée par le fait que, le système étant électromagnétique, la majorité des auteurs pensait à l'époque que le même nom pouvait (d'aucuns disaient : devait) désigner à la fois l'unité d'induction et l'unité de champ.

Depuis lors, les Américains ont poursuivi avec persévérance la rectification de ce qu'ils considéraient comme une erreur de traduction. D'autre part on a, de plus en plus, employé en Europe le *gauss* pour désigner l'unité *d'induction* en même temps que celle de *champ*, cette dernière étant d'ailleurs beaucoup moins fréquemment employée, de sorte qu'au moment où il a généralement paru convenable d'établir une distinction nette entre le champ et l'induction magnétiques, il a été assez facilement admis de réserver le nom de *gauss* à l'unité d'induction, à la condition de donner à l'unité de champ un nom court et commode et non un nom composé.

Ce sont ces manières de voir qu'a sanctionnées la C.E.I. en juillet dernier, en adoptant pour l'unité de champ le nom *d'oersted*, proposé et ardemment soutenu par tous les délégués scandinaves, et d'ailleurs particulièrement justifié, puisque c'est incontestablement Oersted qui a découvert le champ magnétique d'un courant électrique, base de l'intégration du magnétisme dans les phénomènes électriques.

L'adoption du *gilbert*, depuis très longtemps proposé et d'ailleurs employé couramment en Amérique, ne semble pas devoir provoquer d'observations spéciales. Sans doute la nécessité de cette nouvelle dénomination ne s'imposait-elle pas à toutes les délégations avec la même force : il a semblé cependant à la presque unanimité des délégations qu'il n'y avait pas lieu de la rejeter.

III. — L'œuvre de la C.E.I., très importante pour la pratique bien qu'elle se soit bornée, en ce qui concerne les principes, à appliquer ceux qui existaient, étant ainsi placée sous son vrai jour, il est nécessaire de revenir sur l'œuvre du Congrès de 1900. Nous allons rechercher successivement pourquoi il a adopté les unités magnétiques C.G.S., pourquoi il leur a donné des noms de savants, quels inconvénients en résultent, s'il n'aurait pu trouver d'autres solutions meilleures, s'il n'était pas justifié à adopter ces solutions.

Dans cette discussion nous emploierons par anticipation, pour la clarté de l'exposé, les dénominations qui viennent d'être adoptées par la C E.I.

IV. — Quand le Congrès de 1900 s'est trouvé dans la nécessité de préciser un système usuel d'unités magnétiques, il avait à choisir entre deux systèmes : le système pratique et le système C. G. S.

Le système pratique donnait des unités de champ et d'induction égales à 10^{-10} C.G.S., d'un ordre de grandeur qui les rendait inapplicables, ce qui n'a pas permis de le retenir.

Au contraire, les unités du système C.G.S. se montraient d'un ordre de grandeur très favorable, puisque les champs usuels s'exprimaient commodément en *oersteds*, les inductions en *kilogauss* et les flux en *mégamaxwells*, et que le *kilogauss* et le *mégamaxwell* sont d'un emploi aussi aisé que le kilowatt, le kilovolt, le mégohm, le microfarad qui sont d'un usage constant.

Il aboutissait, par contre, à un système d'unités magnétiques non cohérent avec le système électrique, ce qui pouvait entraîner, dans la pratique, quelques difficultés, sur lesquelles je reviendrai plus loin, et ce qui paraissait regrettable du point de vue des principes.

V. — Je ne crois pas qu'on ait déjà fait remarquer que, du point de vue des principes, ce n'est pas le Congrès de 1900 qui est en faute, s'il y a faute, mais bien le Congrès de 1881 avec le système pratique.

Le Congrès de 1881, en effet, se trouvait en présence de deux systèmes d'unités existants : le système métrique originel (mètre, gramme seconde) d'une part et le système C.G.S. (centimètre, gramme, seconde), qui était devenu le système universellement employé par les physiciens, d'autre part. Or le Congrès de 1881, considérant les unités électriques C.S.G. comme incommodes, a créé de toutes pièces un nouveau système qui n'est cohérent avec aucun des deux systèmes existants puisqu'il comporte une unité de masse qui a pour valeur 10^{-11} gramme

et une unité de longueur, le quadrant, soit 10000 kilomètres, qui n'est ni le mètre, ni le centimètre.

Cette absence de cohérence est d'autant plus regrettable qu'elle tient essentiellement au choix, presque incompréhensible, de la valeur 0.1 C.G.S. pour *l'ampère*, d'où sont découlées des valeurs 10^9, 10^8, 10^7, etc.. pour les rapports des diverses unités pratiques aux unités C.G.S. et l'impossibilité de dénommer ces unités pratiques en fonction des unités C.G.S. au moyen de préfixes, parce qu'il en aurait fallu trop. Si l'on avait identifié *l'ampère* avec l'unité C.G.S. de courant, il aurait suffi de créer des préfixes représentant 10^9 et 10^{-9}, et ultérieurement 10^{12} et 10^{-12}, pour pouvoir conserver le système C.G.S. dans la pratique.

C'est évidemment là un passé d'un demi-siècle sur lequel il ne saurait être question de revenir utilement en raison des habitudes prises et de l'extrême abondance de la littérature intervenue. Il n'en subsiste pas moins qu'en ce qui concerne les unités magnétiques, le Congrès de 1900 s'est trouvé en présence des deux possibilités alternatives suivantes, également dépourvues de cohérence :

ou bien adopter les unités du système pratique, et admettre un système non cohérent avec le système d'unités mécaniques,

ou bien adopter les unités C.G.S., et admettre un système non cohérent avec le système pratique.

Les deux solutions prêtaient, du point de vue des principes, aux mêmes objections; on peut même dire que la seconde prêtait moins à objection que la première, puisqu'elle établissait la cohérence avec un système d'unités tout à fait général, et antérieur au système pratique.

Cette seconde solution donnait également des unités commodes, alors que la première aboutissait pour certaines unités à des valeurs inacceptables.

Enfin le système pratique n'avait aucune possibilité d'extension usuelle aux unités mécaniques en raison des valeurs par trop incommodes qu'il imposait à ces unités.

Dans ces conditions, il semble bien que le Congrès de 1900 ait adopté la solution la moins critiquable du point de vue des principes en décidant d'employer les unités magnétiques du système C.G.S.

VI. — Peut-on, du moins, lui reprocher d'avoir donné à ces unités des noms de savants ?

C'est un reproche qui lui a été souvent adressé, en raison de ce que le Congrès de 1881 aurait décidé qu'il serait attribué des noms de

savants aux unités pratiques à dénommer et qu'il ne serait donné aucun nom aux unités C.G.S. Je ne pense pas que ce reproche soit justifié.

Le Congrès de 1881 s'est trouvé en face d'un groupe d'unités C.G.S. dont l'emploi lui a paru si incommode qu'il a décidé de les rejeter et de créer de toutes pièces un nouveau système pour la pratique. Il était tout naturel qu'il refusât d'attribuer des noms à ces unités C.G.S. qu'il n'acceptait pas d'employer, et qu'il réservât l'attribution de noms aux unités du système pratique qu'il venait de créer. Ce sont des décisions qui, je le répète, se présentaient tout naturellement à l'esprit pour les unités électriques, mais il serait, à mon sens, tout à fait excessif de les étendre à d'autres unités. Le Congrès de 1881 n'a d'ailleurs jamais songé à supprimer les noms de centimètre, gramme, dyne ou erg, qui sont ceux d'unités du système C.G.S.

La seule question susceptible de se poser était de savoir s'il n'y avait pas lieu de donner à ces unités magnétiques C.G.S. des noms dérivés du grec, conformément aux intentions des fondateurs du système C.G.S. (1861-1873). C'est une question qui a été débattue au Congrès de 1900 et tranchée, avec raison je crois, par la négative. La règle de dérivation grecque était une simple règle d'ordre, dénuée de caractère absolu, et à laquelle les fondateurs du système C.G.S. eux-mêmes admettaient des exceptions, puisqu'ils ont conservé le *centimètre* et la *seconde*, alors que ni le préfixe *centi*, ni le mot seconde ne dérivent du grec.

Au surplus, la question est véritablement d'importance secondaire et ce serait, je pense, tomber dans le byzantinisme que d'en prolonger la discussion.

VII. — Quels sont, enfin, les inconvénients usuels de la décision adoptée ?

L'emploi du système C.G.S. pour les unités magnétiques oblige à introduire des puissances de 10 dans les équations de liaison entre l'électricité et le magnétisme. Cet inconvénient, qui pourrait être grave dans d'autres conditions, se trouve être négligeable dans la pratique, pour les raisons suivantes.

Les relations de liaison se réduisent, en effet, à deux : celle qui donne la force magnétomotrice d'un courant et celle qui donne la force électromotrice induite par une variation de flux d'induction magnétique.

La première ne subit, en pratique, aucun inconvénient du fait de la

dualité des systèmes. Au lieu d'écrire

$$\mathcal{F}\ (\text{pragilberts}) = 4\pi\ \text{ampèretours},$$

on doit écrire

$$\mathcal{F}\ (\text{gilberts}) = 0{,}4\pi\ \text{ampèretours},$$

ce qui est même un peu plus simple, car on a sensiblement

$$0{,}4\pi = 1{,}256$$

de sorte qu'il suffit de majorer le nombre d'*ampèretours* d'un quart de sa valeur pour avoir, à 1/2 0/0 près, la force magnétomotrice en *gilberts*.

La seconde nécessite, en principe, l'intervention de la puissance 10^{-8} (ou 10^8 selon la place où on la met). Cette intervention n'est pas gênante à l'usage parce que c'est la seule, toujours la même, qui intervienne en l'espèce, de sorte que l'effort de mémoire à faire est presque inexistant, et que d'autre part la valeur de 10^8 est assez élevée pour qu'on ne risque pas de l'omettre par inattention.

La question peut d'ailleurs se simplifier encore lorsqu'il s'agit de courants sinusoïdaux, comme c'est presque toujours le cas dans l'emploi de cette relation. On a alors, en effet, en valeurs efficaces :

$$E\ (\text{volts}) = \omega\Phi\ (\text{pramaxwells}) = \omega 10^{-8}\Phi\ (\text{maxwells})$$

ce qui peut encore s'écrire

$$E\ (\text{volts}) = 10^{-2}\omega\Phi\ (\text{mégamaxwells}),$$

Or, pour la fréquence 50, qui est de beaucoup la plus usuelle, ceci devient

$$E\ (\text{volts}) = \pi\Phi\ (\text{mégamaxwells})$$

d'où toute puissance parasite de 10 a disparu, et, pour une fréquence f quelconque.

$$E\ (\text{volts}) = \pi\left(\frac{2f}{100}\right)\ (\text{mégamaxwells})$$

ce qui nécessite d'autant moins d'efforts de mémoire que le *méga-maxwell* est l'unité commode d'évaluation des flux d'induction magnétique,

Il résulte clairement de là que les inconvénients de la décision adoptée sont pratiquement nuls.

VIII. – Le Congrès de 1900 n'aurait-il pu parer à la difficulté résultant des valeurs du *pragauss* et du *praoersted* en se bornant à dénommer le *pramaxwell* et le *pragilbert* et en définissant les unités d'induction et de champ comme étant respectivement le *pramaxwell par centimètre carré* et

le *pragilbert par centimètre*, de même qu'on évalue couramment les champs électriques en *volts par centimètre*?

Cette solution, qui ne soulèverait pas d'objection grave du point de vue des principes, a été proposée à de nombreuses reprises ; elle a toujours été écartée en raison de son incommodité d'emploi.

La nécessité d'utiliser un nom d'unité composé, lorsqu'on est obligé d'employer ce nom très fréquemment, entraîne, en effet, une gêne qui devient intolérable à la longue, et qui amène, en outre, une conséquence très regrettable : c'est la simplification abusive du nom.

C'est ainsi qu'on trouve couramment dans les écrits, l'expression de fréquences en *périodes* (au lieu de périodes par seconde), de vitesses en *kilomètres* (au lieu de kilomètres par heure, minute ou seconde), de pressions en *kilogrammes* (au lieu de *kilogrammes-poids par centimètre carré*), de résistivités en *ohms* ou *microhms* (au lieu de ohms-centimètres ou microhms-centimètres), de quantités d'énergie en *kilowatts* (au lieu de kilowattheures), etc...

Il en résulte des confusions des plus fâcheuses, encore plus marquées parfois dans le langage parlé, et qui peuvent devenir graves dans certains cas. On doit, à mon sens, féliciter le Congrès de 1900 de ne pas être entré dans cette voie.

IX. — Etant donné que l'incommodité de certaines unités magnétiques du système pratique est due à l'incommodité de son unité de longueur, qui provient du caractère électromagnétique de ce système, n'aurait-il pas mieux valu renoncer à ce caractère électromagnétique pour établir un système pratique d'ensemble parfaitement cohérent?

Cette question s'est trouvée posée dès 1901 par le Professeur Giorgi, qui a apporté la réponse sous la forme d'un système *mètre*, *kilogramme*, *seconde*, *ohm*, qui, ainsi que l'on peut aisément s'en rendre compte, comporte toutes les unités électriques du système pratique, et en même temps des unités mécaniques et magnétiques d'un usage commode.

Ce système est donc très intéressant à première vue ; il présente cependant un inconvénient sur lequel je reviendrai plus loin, mais je voudrais tout d'abord généraliser la question.

Le système pratique est un système *électromagnétique* c'est-à-dire dans lequel l'unité de *perméabilité magnétique* adoptée est la perméabilité du vide. Si l'on admet que cette unité puisse être une puissance quelconque de 10 de la perméabilité du vide, on peut former une infinité de systèmes, comportant chacun toutes les unités électriques du système

pratique, et que j'appellerai, pour ce motif, *exopratiques*. Quels en sont les caractères généraux?

X. — Les unités électriques du système pratique sont les suivantes :

watt coulomb seconde	joule ampère volt ohm farad henry

J'ai introduit immédiatement la *seconde* dans ce tableau, parce que la nécessité de sa présence découle immédiatement de la comparaison du *watt* et du *joule* ou du *coulomb* et de *l'ampère*.

Il y a lieu de remarquer que toutes les unités de la 2e colonne peuvent être considérées comme dérivant de celles de la 1re colonne (sans que ceci touche en rien à la question des unités fondamentales: *ohm*, *volt*, *ampère*, qui est tout à fait en dehors de notre sujet) par les relations

$$P = VI$$
$$V = RI$$
$$Q = CV$$
$$W = \frac{1}{2} LI^2$$

trop connues pour qu'il soit nécessaire d'en indiquer le sens. Mais quelles sont les répercussions de l'emploi de ces unités sur les unités mécaniques et magnétiques telles que

M_0	unité de masse	
L_0	d°	longueur
Φ_0	d°	flux d'induction
$\mathcal{F}_0$	d°	force magnétomotrice
$\mathcal{B}_0$	d°	induction
$\mathcal{H}_0$	d°	champ
μ_0	d°	perméabilité

Je n'ai pas fait figurer dans cette liste la température, parce qu'elle se présente dans les équations dans des conditions telles que le choix de son unité n'a aucune répercussion sur les unités mécaniques, électriques ou magnétiques, et peut ainsi être fait arbitrairement. On s'est même demandé déjà s'il ne résulte pas de là que la température n'est pas une grandeur physique, mais un simple paramètre numérique ; seulement, c'est encore une question qui sort de notre sujet.

La liaison entre les grandeurs mécaniques de tout système exopratique résulte de la relation

$$W = \frac{1}{2} mv^2$$

ou W est exprimé dans tous les cas en *joules*, donc constant dans tous les systèmes. On aura dès lors

$$\frac{m}{M_0} \times \frac{v^2}{L_0^2 \times (\text{seconde})^{-2}} = \frac{m}{10^{-11} \text{ gramme}} \times \frac{v^2}{10^{18}\text{cm}^2 \times (\text{sec})^{-2}}$$

c'est-à-dire

$$M_0 L_0^2 = 10^7 \text{ C.G.S.}$$

dans tous les systèmes exopratiques.

Si l'on prenait pour M_0 la valeur de 1 gramme ou de 1 tonne, on aurait pour L_0 les valeurs $10^{\frac{7}{2}}$ centimètres ou $\sqrt{10}$ centimètres, valeurs irrationnelles inacceptables. Il est donc préférable de convenir que l'on choisira arbitrairement la valeur de L_0 et qu'on en déduira la valeur correspondante de M_0.

Φ_0 se déduit de la relation

$$E = -\frac{d\Phi}{dt}$$

de laquelle il résulte que Φ_0 est égal à un *pramaxwell* dans tous les systèmes exopratiques

De même $\mathcal{F}_0$ dérive de la relation.

$$\mathcal{F} = 4\pi ni$$

de laquelle il résulte que $\mathcal{F}_0$ est égal au *pragilbert* dans tous les systèmes exopratiques.

$\mathcal{B}_0$ et $\mathcal{H}_0$ résulteront immédiatement des définitions

$$\mathcal{B}_0 = \frac{\Phi_0}{L_0^2}$$

et

$$\mathcal{H}_0 = \frac{\mathcal{F}_0}{L_0}$$

Reste la perméabilité magnétique. La valeur de μ_0 se déduira de la formule

$$\mu_0 = \frac{\mathcal{B}_0}{\mathcal{H}_0} = \frac{\Phi_0}{\mathcal{F}_0 L_0}$$

d'où il résulte que

$$\mu_0 L_0 = 10^9 \text{ C.G.S}$$

En résumé, le choix d'une unité de longueur, associée aux unités électriques du système pratique, suffit à fixer la valeur de toutes les

unités mécaniques et magnétiques. On peut, dès lors, établir le tableau suivant des quelques systèmes exopratiques que l'on pourrait songer à utiliser.

L_0	M_0	$\mathcal{B}_0$	$\mathcal{H}_0$	μ_0
1 centimètre	10 tonnes	10^8 C. G. S.	10^{-1} C. G. S.	10^9 C. G. S.
1 décimètre	100 kilogrammes	10^6 C. G. S.	10^{-2} C. G. S.	10^8 C. G. S.
1 mètre	1 kilogramme	10^4 C. G. S.	10^{-3} C. G. S.	10^7 C. G. S.
1 décamètre	1 décagramme	10^2 C. G. S.	10^{-4} C. G. S.	10^6 C. G. S.
1 hectomètre	1 décigramme	1 C. G. S.	10^{-5} C. G. S.	10^5 C. G. S.
1 kilomètre	1 milligramme	10^{-2} C. G. S.	10^{-6} C. G. S.	10^4 C. G. S.
1 quadrant	10^{-11} gramme	10^{-10} C. C. S.	10^{-10} C. G. S.	1 C. G. S.

XI. — Le seul de ces systèmes, dont l'ensemble des unités soit d'un emploi commode est celui du *mètre, kilogramme*, c'est-à-dire, à un facteur 4π près sur lequel je reviendrai plus loin, le système Giorgi (1901).

Mais ce système a un défaut grave, qui caractérisait déjà le système métrique originel, et qui a obligé à la création, après douze années de discussions, du système C.G.S., puis, en France, du système *mètre, tonne, seconde*, lorsque les unités C.G.S. se sont révélées décidément trop petites pour la pratique, c'est la discordance entre les unités de *longueur* et de *masse*.

On a justifié cette discordance en arguant du caractère essentiellement distinct des unités fondamentales de longueur et de masse, et cette raison est inattaquable en soi : si les fondateurs du système métrique avaient défini l'unité de masse comme étant la masse d'un bloc déterminé d'un certain métal conservé sous bonne garde en un lieu fixé, on s'en serait vraisemblablement tenu là, sous réserve, cependant, des répercussions sur la valeur de l'unité de densité; mais ils n'ont pas opéré ainsi. En réalité, ils ont opéré en deux temps, définissant d'abord l'unité de *densité* comme étant la densité de l'eau à 4° C; puis l'unité de *masse* comme étant la masse de l'unité de volume du corps de densité 1. Du moment qu'il y a intervention de l'unité de volume, cette unité ne peut être que le volume du cube dont le côté est égal à l'unité de longueur, alors que l'on avait pris le cube d'un centimètre de côté.

Cette discordance a exercé, à la longue, une pression telle qu'elle a amené, en 1873, l'adoption du système C.G.S., et en 1919, en France, l'adoption du système *mètre, tonne, seconde*. L'emploi du système *mètre, kilogramme*, proposé d'abord, a soulevé certaines objections, qui ne

s'appliquent pas aux systèmes exopratiques, et ont amené son remplacement par le système *mètre, tonne*.

En outre, l'unité de densité dans ce système eût été de $\frac{1}{1.000}$ de sa valeur habituelle, car la masse d'un mètre cube d'eau est évidemment de 1.000 kilogrammes, ce qui porte à 1.000, au lieu de 1, la densité de l'eau. Il en serait résulté, dans les habitudes prises, un trouble difficile à supporter.

L'emploi du système *mètre, kilogramme*, constituerait donc une régression.

Il résulte de là que les systèmes exopratiques ne sont pas susceptibles de donner satisfaction.

XII. — Reste à éclaircir la relation qui existe entre les unités magnétiques pratiques et C.G.S.

En ce qui concerne le *pramaxwell*, tout le monde est d'accord sur sa valeur, qui est de 10^8 *maxwells*, ainsi que cela résulte de la relation qui lie la force électromotrice induite à la dérivée du flux d'induction.

Pour les trois autres unités dénommées, quelques flottements se sont produits en raison de l'existence d'une part du système Giorgi, d'autre part du système Dellinger et Bennett, qui n'est autre que le système exopratique *centimètre, 10 tonnes* où l'unité de perméabilité serait $\frac{10^9}{4\pi}$ fois la perméabilité du vide au lieu de 10^9 fois, et enfin de divers systèmes, dits rationnels, où l'on a fait disparaître de certaines équations le facteur 4π, qui est évidemment gênant (les deux premiers systèmes sont d'ailleurs à la fois exopratiques et rationnels).

Nous venons de voir en quoi l'adoption du système de Giorgi constituerait une régression ; il n'a d'ailleurs pas été employé. Le système de Dellinger et Bennett présente le même défaut que celui de Giorgi à un plus haut degré encore, et de plus comporte une unité de mesure et une unité de perméabilité incommodes ; il a été employé, d'après M. Kennelly, dans quelques ouvrages, mais son emploi ne s'est pas répandu et il ne doit être envisagé que comme constituant une proposition non adoptée.

Enfin, les systèmes dits rationnels présentent le double inconvénient que, quand on a chassé le facteur 4π de certaines expressions, il réapparaît dans d'autres où il est à peu près aussi gênant, et que leur adoption nécessiterait la modification de la valeur de certaines unités usuelles, ce qui est devenu impraticable. Pour ces motifs et bien qu'ils

aient été employés dans certains travaux théoriques, leur usage ne s'est pas répandu et il n'y a pas lieu d'en tenir compte.

Dans ces conditions, la seule expression de la force magnétomotrice à retenir est la relation classique :

$$\mathcal{F} = 4\pi ni$$

et la seule unité de longueur du système pratique à retenir est le quadrant, de sorte qu'on a :

1 pragilbert = 10^{-1} gilbert
1 pragauss = 10^{-10} gauss
1 praoersted = 10^{-10} oersted.

XIII. — *Conclusion*. — La Commission électrotechnique internationale a établi, en s'appuyant sur les principes parfaitement défendables adoptés par le Congrès international de l'électricité de Paris (1900), un système commode d'unités magnétiques de nature à rendre, j'en suis convaincu, les plus grands services aux savants et aux techniciens qui ont à faire un usage fréquent de ces unités.

INFORMATIONS
DE LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DES ÉLECTRICIENS

TRAVAUX DES GROUPES

M. J. Rivière, le dévoué secrétaire de notre *Groupe du Sud-Est*, a fait à la réunion générale de ce groupe, le 24 avril 1930, une communication intitulée :

Le problème de la production de l'énergie électrique en France, et les conditions du développement des entreprises hydroélectriques.

Nous regrettons de ne pouvoir donner, faute de place, qu'un court extrait de cette communication très documentée.

M. Rivière examine pourquoi l'énergie « gratuite » des chutes d'eau n'a pas été mieux utilisée jusqu'à présent en France, alors que nous importons annuellement 5 milliards de charbon.

La solution qui consiste à faire appel aux usines thermiques pour la production de l'énergie électrique est tentante : très peu de risques dans la construction qui peut être réalisée rapidement, à un prix bien connu d'avance, tant pour l'installation nouvelle que pour les extensions futures, pas d'incertitude sur le prix de revient de l'électricité, maximum de sécurité dans l'exploitation en raison de ce que les usines peuvent être à proximité des centres de consommation.

Dans de toutes autres conditions se présente l'équipement d'une usine hydraulique, qu'il faut prévoir plusieurs années d'avance, exécuter d'un seul bloc avec des capitaux considérables, avec des risques dans la construction des barrages, des risques dans l'exploitation du fait de l'éloignement des centres de consommation, des risques dans la production en raison des variations de débit de l'eau suivant les saisons et d'une année à l'autre.

Il faut donc une certaine audace pour se lancer dans l'équipement des usines hydrauliques, mais cette audace commence à s'étayer sur des bases solides : les travaux de MM. Tavernier et de la Brosse, ont doté la France d'une documentation précieuse au sujet du régime

des cours d'eau ; d'autre part, la sécurité d'exploitation bénéficie des grands progrès réalisés dans les transports d'énergie.

M. Rivière fait remarquer combien la définition du prix de revient de l'énergie produite par une usine est complexe dans le cas, très général, où cette usine fonctionne en parallèle avec d'autres. Dans les systèmes de distribution à alimentation mixte, on a été conduit, jusqu'à ces dernières années, à faire fournir la puissance de base par les usines hydrauliques et la pointe par les usines thermiques ; depuis, l'étude serrée du rendement thermique des centrales a fait ressortir l'avantage d'une marche très régulière, de sorte que dans bien des cas l'usine hydraulique de pointe se justifie.

M. Rivière donne ensuite un exemple des améliorations obtenues par l'emploi des réservoirs d'accumulation saisonniers ; il préconise d'autre part la conjugaison d'usines à régimes différents.

Le Conférencier donne les chiffres de la production totale en France en 1927 et de la répartition de la consommation. Il cite l'exemple remarquable de l'U.P.E.P.O., pour montrer ce que peut réaliser une intelligente coordination des moyens de production.

Il termine en exposant le rôle essentiel des grands réseaux de transport et d'interconnexion pour l'exploitation rationnelle de toutes nos ressources hydroélectriques ; il adresse un juste hommage au Président sortant M. Viel, qui a tant contribué à la mise en valeur de nos chutes d'eau, et au nouveau Président, M. Delon, qui en réalisant le câble fonctionnant à la plus haute tension employée dans le monde, permet dorénavant aux superréseaux de pénétrer jusqu'au cœur des centres de consommation.

COMPTE RENDU
DU CONGRÈS DE LA HOUILLE BLANCHE, A ALGER

par M. Lucien SABATIER,

Ingénieur E. S. E., Délégué au Congrès par la Société française des Electriciens.

Le Congrès de la Houille blanche, qui s'est tenu cette année à Alger, a été l'occasion d'une mise au point de la situation actuelle de l'industrie électrique en Afrique du Nord.

Organisée par l'Association des anciens élèves de l'Institut Electrotechnique de Grenoble, représentée par son président M. ESCANDE, et par M. KARM, président du groupement Nord-Africain, cette manifestation a été inaugurée le 9 juin 1930, dans la salle des séances des Délégations Financières, par M. Pierre BORDES, gouverneur général de l'Algérie, assisté de MM. GALLE, président des Délégations Financières, et MERCIER, commissaire général du Centenaire. Après que M. ESCANDE eût répondu aux discours de bienvenue il fut procédé à la lecture des rapports dont nous donnons ci-après le résumé :

L'ETAT ACTUEL DE L'ELECTRIFICATION EN ALGERIE
Centrales hydrauliques et thermiques,

par M. VIGNAUD,

Ingénieur I. E. G., Directeur de l'agence de l'Afrique du Nord de la Compagnie des Compteurs

L'auteur fait connaître l'importance des travaux d'Electrification exécutés à ce jour en Afrique du Nord, et principalement dans les cinq dernières années, au cours desquelles on a pu doubler la puissance installée et décupler la longueur des lignes à haute tension.

On compte actuellement environ :

160 000 kW de puissance thermique installée,
30 000 kW de puissance hydraulique installée,
plus 30 000 kW de petites centrales isolées,
soit au total : 220 000 kW installés.

Sont en outre en cours d'installation :

20 000 kW hydrauliques,
80 000 kW thermiques.

Le rapport décrit sommairement les principales centrales, et les réseaux de l'Afrique du Nord.

La conclusion est que les petits secteurs épars doivent être remplacés par les grands réseaux de distribution.

L'ELECTRIFICATION DES CAMPAGNES EN ALGERIE

par M. MURAT,

Ingénieur E. S. E., Ingénieur du Génie Rural au Gouvernement Général de l'Algérie.

Le rapporteur expose les conditions particulières dans lesquelles se sont créés et développés en Algérie les réseaux d'électrification rurale, et met en lumière le rôle prépondérant qu'ont joué dans ces créations les coopératives agricoles d'Electricité. Ces coopératives, constituées sous la forme de Sociétés d'intérêt collectif agricole d'électrification, ont collaboré étroitement avec les sociétés privées d'Electricité intervenant comme concessionnaires ou gérantes d'exploitation.

La colonie subventionne à fonds perdus les entreprises d'électrification rurale qui peuvent, d'autre part, compter comme en France, sur les prêts à long terme de la Caisse Nationale de Crédit agricole. 500 000 francs seulement ont été inscrits en 1925 à cet effet au budget de l'Algérie. Pour l'exercice 1930, le crédit voté a été de dix-huit millions.

Le rythme actuel des travaux algériens d'électrification rurale est d'environ Frs : 50 millions par an, et doit s'échelonner sur dix années pour répondre à l'électrification complète du Tell.

Les études et les tractations relatives à la construction et à l'exploitation de ces réseaux ruraux sont assurés par les services techniques de la colonie, qui ont pu presque toujours obtenir pour le compte des collectivités d'électrification rurale des conditions avantageuses.

Le programme général d'électrification algérienne, à peine entamé, constitue pour l'Industrie française de l'Electricité un débouché particulièrement intéressant.

LES LIGNES DE TRANSPORT D'ENERGIE ELECTRIQUE EN ALGERIE

par M. FARIGOULE,

Ingénieur I. E. G., Directeur de l'agence d'Alger de l'Entreprise Générale d'Installations Electriques.

L'auteur expose l'évolution des différents modes de transport et de distribution de l'Energie Electrique.

Après avoir décrit les caractéristiques générales des éléments constitutifs d'une ligne : supports, fondations, hauteurs des nappes, portées, angles, conducteurs, isolateurs, etc., il discute les conditions économiques qui déterminent le choix de ces éléments dans le cas général et dans le cas particulier de l'Algérie. Il examine ensuite les divers modes de protection et d'entretien des lignes et les résultats de leurs applications en Afrique du Nord.

Suit une énumération rapide, des lignes exécutées à ce jour.

L'ENERGIE ELECTRIQUE DANS LES MINES EN ALGERIE

par M. Rozey,

Ingénieur I. E. G., Ingénieur à l'agence d'Alger de la Compagnie Electromécanique.

L'auteur examine les conditions de production et d'utilisation de l'Electricité dans les Mines, par centrales individuelles ou par sous-stations raccordées aux réseaux de distribution.

Il cite entre autres les centrales hydroélectriques de Kherba et de Miliana, qui desservent respectivement les mines de Rouina et du Zaccar.

Il parle ensuite des différents modes d'utilisation de l'énergie dans les mines, et termine par un exposé de l'état actuel de l'Electrification des Chemins de fer en Algérie.

LES TRAVAUX D'AGRANDISSEMENT DU PORT D'ALGER

par M. Hatingais,

Ingénieur A. et M. et I. E. G., Directeur du Service électrique de l'Entreprise Schneider et Cie.

Le rapport débute par un historique des travaux du port d'Alger depuis 1830, et continue par l'exposé du projet d'agrandissement en cours d'exécution.

La jetée du large, est constituée par un mur vertical à quatre assises de blocs en béton pesant jusqu'à 450 T. Leur bardage à terre et leur pose à la mer ont nécessité la construction d'un bardeur de 450 T ; d'un transbordeur pour déplacer le bardeur et les blocs (masse en mouvement 1 200 T) ; d'un portique flottant permettant de déposer les blocs par des fonds de 15 à 30 m.

Ces engins sont actionnés par courant continu sous 500 V, pris à des commutatrices et distribué par canalisations souterraines.

Ces engins, destinés au levage relativement rapide de charges

énormes, nécessitant un couple moteur extrêmement énergique au démarrage, exigent l'emploi de moteurs à excitation série, ce qui a fait préférer le courant continu à l'alternatif.

Suit une étude détaillée du moteur à excitation série et de son fonctionnement, avec démarrage manuel ou automatique par contacteurs, et la description du fonctionnement des différents engins du chantier.

L'ETAT ACTUEL DE LA RADIO-ELECTRICITE EN AFRIQUE DU NORD

par M. Bérard,
Ingénieur I. E. G.

L'auteur expose d'abord la situation, en ce qui concerne la radiotélégraphie et la radiotéléphonie, les liaisons existantes et en projet entre l'Algérie et la Métropole, et à l'intérieur de la colonie. Il décrit sommairement le poste de radio P. T. T. d'Alger, que les congressistes eurent l'occasion de visiter en détail.

La deuxième partie du rapport traite du développement actuel de la radiologie et de l'électricité médicale, qui trouvent en Algérie un champ d'action de plus en plus étendu et contribuent ainsi à répandre parmi la population indigène les bienfaits de notre civilisation. Cette branche est actuellement assez développée dans les trois départements pour soutenir la comparaison avec la Métropole.

LES INSTALLATIONS ELECTRIQUES INTERIEURES ET LEURS RISQUES D'INCENDIE,

par M. Rambaud,
Ingénieur I. E. G., Directeur de la Compagnie d'Assurances « L'Aigle ».

L'auteur expose la question de la sécurité des installations, et passe en revue les principales prescriptions de la réglementation n° 137, de l'*Union des Syndicats de l'Electricité*.

Il signale le danger des surintensités et surtensions et des court-circuits qui en résultent, et les dispositifs employés pour les combattre. Il traite tout spécialement des dispositions à prendre dans les installations électriques agricoles.

Après avoir énuméré les divers cas d'incendie dus à des court-circuits, et défini le rôle dévolu aux Compagnies d'assurances, le rapporteur conclut en déclarant que les progrès réalisés dans ces derniers

temps par l'industrie électrique n'ont pas atténué les risques d'incendie, mais les ont plutôt aggravés par suite de la diffusion croissante des applications, et de l'élévation des tensions de distribution.

LE PROBLEME DE LA MAIN-D'ŒUVRE EN ALGERIE

par M. Karm,

Ingénieur I. E. G., Directeur des usines de Bellefontaine de la Société générale des explosifs « cheddites ».

Dans un court exposé, l'auteur examine les conditions de recrutement et d'utilisation de la main-d'œuvre, problème très délicat dans un pays où voisinent des éléments de population très divers, dont le caractère commun est l'instabilité de résidence et d'occupation.

Les mœurs indigènes, les règles du Coran, les épidémies, l'appel saisonnier de main-d'œuvre agricole, sont autant de facteurs qui faussent le jeu naturel de la loi de l'offre et de la demande. D'où la difficulté de former des équipes et des cadres, sans le secours de la main-d'œuvre française à laquelle il faut demander de remarquables qualités de maîtrise et de doigté pour la conduite d'un personnel indolent, fugitif, et essentiellement réfractaire à la discipline du travail.

LE COMMERCE ALGERIEN

par M. Hatingais,

Ingénieur A. et M. et I. E. G.,
Directeur du Service électrique de l'Entreprise Schneider et Cie.

Riche pays agricole, l'Algérie est industriellement en voie d'aménagement. Le chiffre de ses exportations, essentiellement agricoles, est encore inférieur à celui de ses importations, mais l'écart diminue graduellement, et l'équilibre sera bientôt réalisé.

L'Algérie, pauvre en charbon, pétrole et houille blanche, doit renoncer à devenir un pays de grande industrie. Mais en tant que pays agricole exportant ses produits, et appelé à augmenter son rendement par le développement du machinisme et par l'électrification rurale, elle offre un vaste débouché aux usines métropolitaines pour l'outillage agricole et toutes les fournitures industrielles.

L'auteur regrette l'état d'esprit de certains industriels français qui pratiquent à l'égard de l'Algérie une politique d'extrême prudence, peut-être excessive et inopportune, étant donné son magnifique es-

sor, particulièrement encourageant au point de vue du commerce industriel, depuis une dizaine d'années. Le peu d'initiative laissé aux agents locaux, le manque d'achalandage et d'approvisionnements, les délais de livraison excessifs, sont autant d'obstacles au succès des entreprises. Il est à souhaiter que les techniciens français viennent plus souvent en Algérie pour mieux la connaître, et comprennent l'opportunité d'améliorer leurs conditions de délais et livraisons. Les pouvoirs publics se préoccupent d'améliorer les relations commerciales, transports et manutentions, et de parer à la pénurie de main-d'œuvre industrielle par l'organisation de l'enseignement professionnel.

L'après-midi, à l'issue de la séance des rapports, les congressistes ont été reçus au palais d'été par M. le Gouverneur Général et Mme Bordes. Les jours suivants ont été consacrés à des excursions et visites d'usines et établissements industriels, notamment les centrales thermiques d'Alger de la Compagnie du Gaz Lebon et de la Société Française d'Eclairage et de Force, l'observatoire de la Bouzareah, la Centrale hydro-électrique de Maillot, la station radiotélégraphique de l'Arba, les travaux du port d'Alger.

Le dimanche 15 juin, un banquet d'adieu réunissait les congressistes et leurs invités à l'hôtel Aletti, sous la présidence de M. le Gouverneur Général, entouré des présidents de l'Association et des notabilités algériennes.

RAPPORT SUR LE CONGRÈS DES INGÉNIEURS ÉLECTRICIENS TCHÉCOSLOVAQUES

Tenu à Prague, du 7 au 11 Juin 1930

par M. Cacheux,

Ingénieur à la Ceskomoravska Kolben Danek,
Délégué français au Congrès.

Pour la sixième fois les ingénieurs électro-techniciens tchécoslovaques se sont réunis et leur congrès tenu cette année dans leur capitale Prague a revêtu un caractère de solennité particulière et a été complété en même temps par le cinquantenaire de la mise au point de la lampe à arc par le Dr Krizik, actuellement âgé de 82 ans et dirigeant toujours avec succès une des importantes firmes électrotechniques tchécoslovaques qui porte son nom. Il a rehaussé de sa présence toutes les manifestations du congrès.

C'est sous ses auspices et en collaboration avec les réseaux locaux que la Tchécoslovaquie a vu son réseau électrique se développer d'une manière considérable au cours de ces dernières années.

Le congrès de Prague de 1930, s'est ouvert par une exposition tenue dans le palais de Slovansky ostrov, large exposition électrotechnique, qui avait réuni 50 sociétés exposantes et de nombreux appareils allant depuis 1 disjoncteur 220 kV, jusqu'aux plus petites applications d'appareillage.

La séance solennelle d'ouverture eut lieu le lendemain 8, dans la nouvelle bibliothèque de la ville de Prague, grande salle d'études, claire et moderne.

Après ouverture par les hymnes nationaux tchèque et slovaque, le président Pokorny a souhaité à tous la bienvenue, tant au Dr Krizik qu'à tous les délégués du gouvernement, des ministères, de la ville de Prague et des délégués étrangers, savoir : MM. Cacheux et Bouffard, France,; M. Chomski, Pologne ; M. Stebi, Yougoslavie, M. Lomsakov, Russie.

A titre de délégué des Syndicats de l'Electricité de Paris et de la Société des Electriciens, M. Cacheux a prononcé ensuite la courte allocution publiée dans l'*Elektrotechnicky Obzor*, du 4 VII, 30, sa-

luée de très vifs applaudissements. Le secrétaire général Vencl a ensuite rendu compte de tous les travaux de l'année ; le travail s'est alors poursuivi dans les différentes commissions de normalisation, tandis qu'une série de conférences techniques se poursuivait dans trois grands amphithéâtres de la faculté électrotechnique.

Parallèlement à ce côté purement travail du congrès, un programme très éclectiquement choisi avait été réservé aux dames qui ont pu visiter quelques usines ou centrales, admirer les plus belles curiosités de Prague, le couvent de Strahov, le cimetière juif, vieux de 1 500 ans, le vieux château avec ses salles remarquables des Espagnols et des gardes. Banquets et représentations ont clos, à la satisfaction de tous, le Congrès 1930, qui fera époque dans les annales de l'E.S.C.

M. Besinsky, directeur général de l'*Elektricke podniky* de Prague a été élu président pour l'année à venir et le Congrès de 1931, projeté à Karlovy Vary Karlsbad.

TRAVAUX DES SECTIONS

QUELQUES REMARQUES SUR LES PROPRIÉTÉS DU GRAPHITE ET NOTAMMENT SA CONDUCTIVITÉ THERMIQUE

par M. BUNET (1).

On trouve assez fréquemment répandue cette opinion que le graphite est moins conducteur de la chaleur que les métaux. A la séance mensuelle de la Société Française des Électriciens du 1er février, dans la discussion au sujet de redresseurs à vapeur de mercure, on paraissait généralement admettre que les électrodes de fer sont beaucoup plus conductrices de la chaleur que celles de graphite.

Il n'en est cependant rien et les techniciens du four électrique n'ignorent pas que le graphite obtenu à l'arc électrique a une conductivité thermique comparable à celle des métaux. Elle n'est dépassée que par celle de l'argent, du cuivre, de l'or, de l'aluminium, du magnésium. Elle est bien au-dessus de celle du fer et surtout des fontes et aciers, souvent de l'ordre du double.

Les idées inexactes à ce sujet ont deux causes. Tout d'abord les électriciens se souviennent de la loi un peu vague qui donne aux conductivités électrique et thermique des métaux une proportionnalité plus ou moins vérifiée. Cette loi ne s'applique pas du tout en dehors des métaux très conducteurs de l'électricité.

De plus, des mesures faites autrefois, probablement sur des échantillons de graphite cristallisé naturel, souvent fort impur, sont reproduites dans les ouvrages et faussent les appréciations. Ainsi le *Recueil de constantes de la Société de Physique* indique, pages 120 et 120 a, pour la conductivité thermique :

Cuivre	1	(Angström, 1863)
Fer	0,20	(d°)
Graphite	0,00043	(Hecht 1903)

Le fer serait ainsi 500 fois plus conducteur que le graphite.

On trouve également au même endroit :

(1) Rapport présenté à la 3e Section le 22 février 1930.

Porcelaine	0,00250
Quartz	0,0160
Soufre	0,00063
Gutta-percha	0,00048

ce qui est invraisemblable immédiatement, car le graphite conduit certainement beaucoup mieux la chaleur que le quartz et non pas 40 fois moins, il conduit aussi mieux que le soufre et la gutta-percha.

Si nous consultons les publications des fabricants nous trouvons dans une brochure d'Acheson : « Il est difficile d'obtenir des chiffres exacts sur la conductivité des électrodes en graphite... on peut dire généralement qu'elle est au-dessous de celle du cuivre, mais surpasse fortement celle des électrodes en charbon aggloméré. »

La Société industrielle des graphites donne dans une de ses notices : « D'après KONIGSBERGER : 3,55 watts par degré par centimètre; seul l'argent conduit mieux : 4,2 watts par degré par centimètre. Le graphite est donc plus conducteur que le cuivre ». Cette assertion, ou bien est erronée, ou bien se rapporte à un état physique ou à des conditions expérimentales différentes de ce qu'on rencontre en employant des électrodes dans les fours électriques dont nous allons seulement nous occuper.

Les nombres publiés sont souvent difficilement comparables à cause de la diversité dans le choix des unités. Nous traduirons tout dans le système C. G. S, avec les longueurs en centimètres, les sections en centimètres carrés, nous emploierons le thermomètre centigrade.

La puissance, soit l'énergie par seconde ou bien la quantité de chaleur par seconde, traversant une surface S entre deux parois distantes de L et présentant une différence de température t est

$$Q = kt\frac{S}{L} \text{ petites calories par seconde,}$$

$$Q = ct\frac{S}{L} \text{ watts} = \frac{1}{r}t\frac{S}{L} \text{ watts,}$$

k et c sont des conductivités thermiques
r est la résistivité thermique.

On a

$$kr = \frac{1}{4,18} = 0,24$$

$$cr = 1$$

$$k = 0,24\ c$$

Les valeurs de ces coefficients varient avec la température; il faut donc toujours avoir le soin d'indiquer les différences de température extrêmes de l'expérience considérée.

On trouve des tableaux possédant d'assez bonnes garanties :

(1) Dans l'ouvrage de STANSFIELD : *The electric furnace.*

(2) Dans le Bulletin 77 du Bureau of Mines (Department of interior) de Washington, d'après SNYDER dans les Transactions of the American Electrochemical Society vol. 18. 1910.

(3) Dans les Tables annuelles de constantes et données numériques.

(4) Dans le Recueil de Constantes de la Société de physique (en mettant de côté certaines valeurs comme celle dont nous parlons ci-dessus à propos de graphite).

Voici un tableau comprenant des métaux :

Métaux	Températures extrêmes	k	c	r	Références
Argent	10° - 97°	0,96	4,0	0,25	(4)
Cuivre	0° - 30°	0,935	3,90	0,257	(2) (3-1910)
Cuivre	100° - 837°	0,88	3,67	0,27	(1)
Cuivre étiré. . .	90° - 210°	0,88	3,67	0,273	(3-1923, 24)
Cuivre recuit. . .	90° - 210°	0,90	3,75	0,267	(3-1923, 24)
Or	10° - 97°	0,75	3,12	0,320	(4)
Aluminium. . . .	18°	0,48	2,00	0,500	(4)
Aluminium . . .	79° - 193°	0,47	1,96	0,511	(3-1923, 24)
Magnésium	0° - 100°	0,38	1,58	0,632	(4)
Zinc	18°	0,26	1,08	0,923	(4)
Cadmium.	18°	0,22	0,918	1,09	(4)
Fer.	0°	0,20	0,833	1,20	(4)
Fer forgé.	100° - 400°	0,22	0,91	1,1	(1)
Fer forgé.	100° - 1245°	0,18	0,76	1,3	(1)
Fer	100° - 200°	0,148	0,617	1,62	(2) (3-1910)
Nickel.	18°	0,14	0,584	1,71	(4)
Etain.	10° - 30°	0,15	0,625	1,6	(4)
Plomb	18°	0,08	0,333	3,0	(4)
Mercure.	0° - 100°	0,02	0,083	12	(4)

Les fontes et aciers, les alliages donnent lieu à la publication de chiffres très variables puisque ces appellations ne correspondent pas toujours à des corps définis. On trouve :

Métaux	Températures extrêmes	k	c	r	Références
Fonte	50°	0,15	0,625	1,6	(4)
Acier (0,01 C).	?	0,10	0,417	2,4	(4)
Acier { 0,5 C . . . . ; 0,24 Si . . ; 0,32 Mn . .	12°,6 à 24°,2	0,132	0,55	1,82	(3)
Acier { 0,71 C . . . ; 0,24 Si . . ; 0,78 Mn. . .	14° à 84°	0,124	0,517	1,94	(3)
Laiton { Cu 7 . . . . ; Zn 3	?	0,29	1,21	0,83	(4)

Passons aux électrodes qui ne sont pas des corps très définis ; les

résultats doivent donc présenter certaines divergences surtout pour celles en charbon aggloméré car tout intervient pour changer les propriétés : matériaux et cuisson notamment. Nous ne donnons les chiffres que pour les électrodes de très bonne qualité; l'addition d'impuretés sera en général de nature à réduire sensiblement la conductivité.

ELECTRODES DE GRAPHITE

Températures extrêmes	k	c	r	Références
100° - 400°	0,344	1,43	0.700	(2) (3-1910)
100° - 800°	0,311	1.29	0,773	(2) (3-1910)
100° - 1200°	0,284	1,18	0.846	(2) (3-1910)
100° - 1600°	0.262	1,09	0,947	(2) (3-1910)
100° - 400°	0,34	1,41	0,71	(1)
100° - 900°	0,29	1,21	0,82	(1)

ELECTRODES DE CHARBON ORDINAIRE AGGLOMÉRÉ ET NON GRAPHITÉES

Températures extrêmes	k	c	r	Références
100° - 360°	0,088	0,37	2,7	(1)
100° - 940°	0,127	0,53	1,9	(1)
100° - 400°	0,092	0,383	2.61	(2)
100° - 800°	0,125	0,521	1,92	(2)
100° - 1200°	0,130	0,542	1,84	(2)
100° - 1600°	0,145	0,605	1,65	(2)

La conductivité thermique des électrodes de graphite décroît avec la température comme celle des métaux. La conductivité thermique des électrodes agglomérées et non graphitées croît avec la température. Aux basses températures de fonctionnement d'un four, une extrémité de l'électrode étant maintenue à 100°, une certaine section de graphite enlève de son extrémité chaude 4 fois plus de chaleur que la même section de charbon ordinaire, à 1 600° le rapport n'est plus que 2.

HERING a fait des expériences directes, dont certains détails sont peut-être discutables, mais qui paraissent avoir dans l'ensemble une bonne valeur pratique. Il a déterminé également la résistivité électrique moyenne entre les températures extrêmes étudiées (*American Institute of Electrical Engineers* 1910, reproduit dans STANSFIELD, *loc. cit.*). La résistivité est en ohms-centimètres.

Voici les tableaux traduits dans nos unités :

Charbon aggloméré non graphité

Températures	ρ	k	c	r
20°	0,0046	—	—	—
100° à 360°	0 0042	0,090	0,374	2,68
100° à 751°	0 0038	0,125	0,519	1,93
100° à 942°	0,00375	0,130	0,543	1,84
100° à 1400°	0,00370	0,138	0,574	1,74
100° à 2000°	0,00345	0,146	0,608	1,65

Graphite Acheson

Températures	ρ	k	c	r
20°	0,000854	—	—	—
100° à 390°	0.000838	0,340	1,42	0,706
100° à 546°	0,000822	0,324	1,35	0,736
100° à 720°	0.000802	0,308	1,28	0,780
100° à 914°	0.000820	0,293	1,22	0,820
100° à 1400°	0,000787	0,279	1 16	0,862
100° à 2000°	0,000787	0,253	1,06	0,940

Fer

Températures	ρ	k	c	r
20°	0,0000147	—	—	—
100° à 398°	0,0000376	0,221	0,922	1,08
100° à 727°	0.0000706	0.203	0,846	1,48
100° à 912°	0,000082	0,185	0,802	1,30
100° à 1245°	0,000101	0,192	0,773	1,24
100° à 1400°	0,000109	0,184	0,767	1,32
100° à 2000°	0,000132	0,180	0,749	1,34

Cuivre

Températures	ρ	k	c	r
20°	0 00000167	—	—	—
100° à 197°	0,00000254	1,05	4,38	0,228
100° à 268°	0,00000301	0,980	4,08	0,245
100° à 370°	0 00000360	0,935	3,90	0,256
100° à 541°	0,00000470	0,910	3,79	0,264
100° à 837°	0 00000675	0,863	3,60	0,278
100° à 1400°	0,0000109	0,823	3,43	0 292
100° à 2000°	0,0000150	0,785	3,27	0,306

Les deux dernières lignes de chaque tableau sont obtenues par extrapolation. On trouve comme autres valeurs intéressantes :

Graphite Acheson (Eucken, *Nernst Festschuft* 1913 et Tables de constantes 1913-1916).

$-77^\circ \quad k = 0,235$

$0^\circ \quad k = 0,250$

$+100^\circ \quad k = 0,235$

Charbon de cornue, pour comparaison, entre 0 et 100° $k = 0,0145$ soit 20 fois moins (Snyder et *Tables de constantes de* 1910).

Bingham indique dans son livre : *The manufacture of Carbide of Calcium* qu'une électrode de charbon aggloméré non graphitée transporte 0,4 calorie par heure par cm³, ce qui nous donne $k = 0,111$; $c = 0,465$; $r = 2,16$.

Nous pouvons dire quelques mots de la conductivité et la résistivité électriques. Ces constantes sont quelquefois exprimées, dans le cas qui nous occupe, de deux manières et il peut y avoir des confusions. La résistivité doit être donnée avec la température pour laquelle elle a été déterminée; on a ainsi la résistance d'un conducteur donné porté tout entier à cette température.

On donne quelquefois la résistivité entre deux températures souvent fort éloignées; on a, en l'appliquant à une barre de dimenions données, la résistance de cette barre quand ses deux extrémités sont respectivement portées aux deux températures indiquées. C'est ainsi qu'est fait, par exemple, le tableau ci-dessus de Hering.

Le tableau de Hering nous indique que cette résistivité moyenne entre 100° et une température plus élevée décroît quand cette dernière augmente, en ce qui concerne les électrodes non graphitées. Les électrodes graphitées ont une résistivité qui décroît sensiblement moins, et est pratiquement constante dans de grandes limites (entre 100° et 500° à 2 000°).

Acheson indique que la résistivité à température constante dans tout l'échantillon de graphite, étant 1 à froid, tombe vers 0,85 à 500°, puis s'élève ensuite et revient à 1 à 1 200°, atteignant 1,09 à 1 800°.

La résistance d'une électrode de longueur L et de section S est $R = \rho \frac{L}{S}$; avec un courant I et une densité de courant $D = I : S$, la chute de tension est ρ L D, d'où $D = \frac{RI}{L} \frac{1}{\rho}$. La puissance transformée en chaleur est $RI^2 = \rho VD^2$, V étant le volume de l'électrode.

Par exemple, si on a $\rho = 3,5 . 10^{-3}$ et qu'on ne veuille pas dépasser $\frac{RI}{L} = 0,02$ V : cm, on a $D = 5,7$ A : cm² ; pour du graphite, où $\rho = 0,8 . 10^{-3}$, on monterait à $D = 25$ A : cm².

Dans les divers fours d'électrothermie, on trouve 3 à 8 A : cm², quelquefois un peu plus, avec les électrodes ordinaires et 15 à beaucoup plus, comme 40 A : cm², avec les électrodes de graphite.

Le choix entre les deux matières fait intervenir des considérations assez nombreuses, dont le prix qui est environ 6 fois plus élevé en employant le graphite (12 et 2 fr : kg).

L'usure du graphite est en général beaucoup plus faible, 2 fois souvent, parfois 3, mais jamais 6 fois. L'emploi du graphite conduit donc à une dépense plus forte, mais il a souvent de grands avantages. Ainsi dans les fours à acier, il donne une partie supérieure moins encombrée et plus accessible, le réglage du courant est facilité par un faible poids : 3 électrodes de 200 mm au lieu de 400 mm de diamètre dans un four de 800 kW; l'usure plus faible et plus régulière, sans gros morceaux se détachant de temps en temps est importante pour la composition du produit désiré. Avec des consommations respectives de 8 et 20 kg par tonne, le produit n'est chargé en sus, par l'emploi du graphite, que de quelques centimes par kilogramme, ce qui est compensé par la sûreté plus grande de la qualité obtenue dans bien des cas.

Quelquefois la plus faible section du graphite est un inconvénient; dans les fours à carbure, par exemple, la diminution de volume de la zone très chaude pour une puissance donnée a été considérée comme une condition peu favorable.

Dans l'électrolyse à chaud, la fabrication de l'aluminium entre autres, le graphite n'a pas réussi malgré sa pureté qui assurerait l'obtention d'un métal plus parfait. La consommation spécifique ne diminuerait pas puisque l'électrode est brûlée par l'oxygène de l'alumine. Une extrémité des électrodes est vers 900°, l'autre est dans l'air, sans refroidissement auxiliaire; alors que les électrodes ordinaires ne sont pas rouges ou très peu, hors du bain, celles de graphite le seraient sur une assez grande longueur.

La jonction de pièces, et en particulier le raccordement d'électrodes bout à bout pendant le fonctionnement est très simple dans le cas du graphite. Il suffit de tarauder un trou dans le bout des électrodes et raccorder par un morceau de tige filetée. Par exemple : Électrodes de 20,5 cm, tige filetée de 12 cm de diamètre, avec filet au pas de 8,5 mm; longueur dans chaque électrode 12 cm. Le courant étant 5 000 A avec pointes de 6 000 A on n'a jamais de rougissement dans la partie raccordée. La chute de tension est de l'ordre de 1,3 fois celle des parties hors du raccord, sans aucune addition de poudres ou pâtes dans les filets. Tous ces taraudages dans le graphite se font très aisément, à

peu près comme dans du bois dur. Au contraire les électrodes ordinaires ne peuvent être ainsi jointes sans précautions. La précision possible est beaucoup plus faible; le filetage est assez cassant et moins régulier; il faut généralement ajouter des pâtes conductrices avant de visser. La partie raccordée a une résistance électrique ordinairement assez élevée et est assez souvent portée au rouge.

Quelques constantes des électrodes de graphite :

Densité apparente : 1,56
Densité réelle : 2,21
Coefficient de dilatation : $7,9.\ 10^{-6}$ à 40°C.

Aluminium	23.10^{-6}
Cuivre	16.10^{-6}
Fer	11.10^{-6}

Chaleur spécifique :

0,166	à 76°C
0,232	à 542°C
0,350	à 1193°C
0,390	à 1450°C

Résistance à la traction (rupture) en kg force par cm^2	50 à 85
Resistance à l'écrasement	210 à 280

UN OSCILLOGRAPHE AUTOMATIQUE POUR L'ENREGISTREMENT DES PERTURBATIONS DES RÉSEAUX (1)

par M. J. Fallou.

La plupart des tableaux de contrôle des usines et des postes de transformation importants sont équipés avec des appareils de mesure enregistreurs, dont nous ne voulons pas contester l'utilité. Toutefois ces appareils, de par la manière dont ils sont conçus, sont incapables de fournir des indications quelconques sur la grandeur, voire même seulement sur l'allure des phénomènes mis en jeu au cours d'une perturbation, d'un court-circuit par exemple : l'inertie des organes mobiles et le frottement de la plume traceuse sur la bande de papier sont tels qu'un « à-coup » se traduit le plus généralement par une vague discontinuité de l'inscription dont il est impossible de tirer le moindre renseignement.

Il est pourtant évident que c'est précisément au cours des perturbations que le fonctionnement correct des appareils enregistreurs présente son intérêt maximum. Il est en effet fort utile de connaître avec un degré de précision suffisant l'instant où s'est produite cette perturbation, le temps qu'elle a duré, les amplitudes maxima et minima de tension et des courants qu'elle a provoquées, et d'une manière générale tous les renseignements que peuvent fournir à ce moment-là des appareils de mesure enregistreurs, voltmètres, ampèremètres et wattmètres. Ces enregistrements fournissent alors une documentation extrêmement précieuse sur la stabilité du réseau, sur le fonctionnement des régulateurs, et sur les valeurs des courants de court-circuit et des chutes de tension concomitantes ; ils permettent surtout d'exercer un contrôle vigilant sur le fonctionnement des interrupteurs et des relais de protection et, partant, de faciliter grandement le réglage et la mise au point de ces derniers appareils.

Il nous paraît donc que tout réseau que quelque importance, dont on a le souci de contrôler et d'améliorer le fonctionnement, doit être

(1) Rapport présenté à la 4e Section dans sa séance du 23 octobre 1930.

muni d'appareils enregistreurs très rapides, capables de fournir des graphiques où l'échelle des temps soit par exemple de l'ordre de 5 centimètres par seconde.

Pour réaliser de tels enregistreurs, il faut évidemment renoncer aux appareils à plume traceuse, et avoir recours à l'enregistrement photographique d'un spot lumineux; par ailleurs, l'utilité de faire enregistrer aux appareils les variations brusques de courant et de tension oblige aussi à abandonner les appareils électromagnétiques ou électrodynamiques qui fournissent, grâce à leur inertie, la valeur efficace des courants, et conduit naturellement à utiliser des appareils fournissant la valeur instantanée de ces courants, c'est-à-dire, en fin de compte, des oscillographes.

Toutefois, les oscillographes destinés à l'usage que nous avons en vue doivent posséder, par rapport aux appareils généralement utilisés dans les laboratoires, certaines qualités spéciales; inversement, certaines qualités demandées aux oscillographes de laboratoire deviennent au moins superflues pour un simple enregistreur de perturbation. En effet :

1° Il est évidemment impossible de concevoir un oscillographe enregistrant *en permanence* les tensions ou les courants : à raison de 5 centimètres par seconde, un pareil oscillographe déroulerait plus de 4 kilomètres de papier émulsionné par 24 heures. Il faut donc, par un moyen quelconque, déclencher l'enregistrement à l'instant même où commence la perturbation, et l'arrêter quelques secondes plus tard. Ceci nécessite l'introduction de relais et de dispositifs de mise en route dont on doit rechercher à réduire l'inertie au minimum.

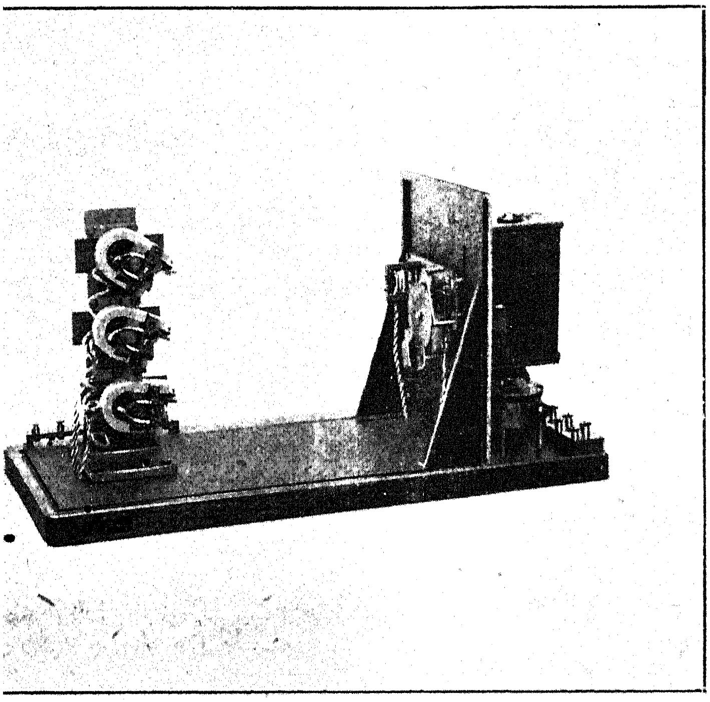
2° L'appareil doit pouvoir être confié à un personnel non spécialisé, et il doit toujours être prêt à fonctionner : il doit donc être particulièrement robuste et d'un maniement très simple.

3° Par contre, le développement relativement lent de l'inscription et l'inopportunité d'enregistrer des phénomènes extrêmement éphémères ou de haute fréquence [1] rendent inutile certaines qualités exigées des oscillographes proprement dits, en ce qui concerne par exemple l'amortissement et la fréquence propre des équipages.

Enregistreur oscillographique type U. D. E.

Après avoir longtemps utilisé sur le réseau de l'Union d'électricité, un oscillographe Blondel ordinaire transformé par des moyens

(1) L'alimentation de ces oscillographes par des transformateurs de mesure rendrait d'ailleurs illusoire la recherche d'inscription de phénomènes de très haute fréquence.



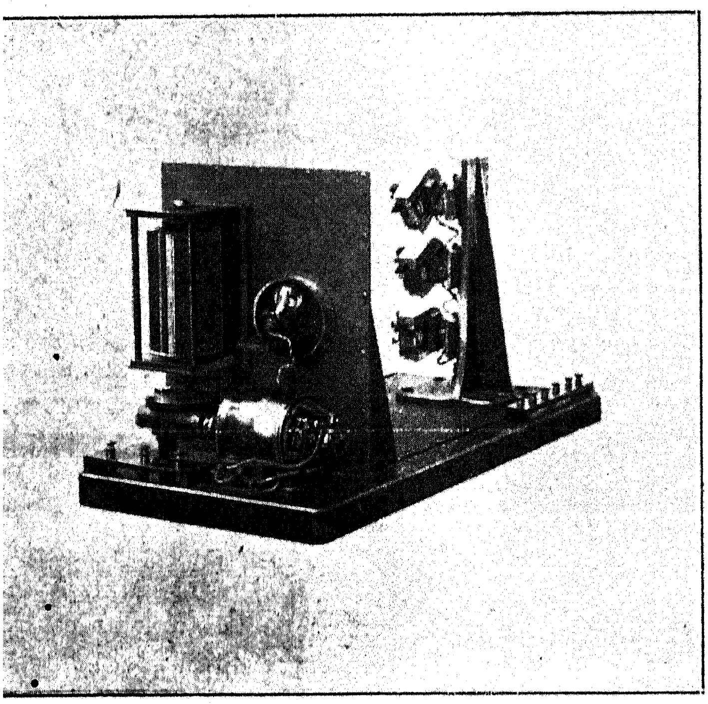


Fig. 1. — Vue de l'oscillographe, couvercle enlevé.

de fortune, nous avons pu récemment faire réaliser par la Maison Beaudouin une série d'enregistreurs automatiques dits enregistreurs U. D. E. qui, s'ils ne fournissent pas encore une solution idéale du problème, possèdent néanmoins à notre avis, la plupart des qualités que l'on peut exiger. Ce sont les caractéristiques de ce nouvel appareil que nous nous proposons de décrire rapidement.

L'enregistreur comprend un oscillographe proprement dit, et un ensemble de relais.

L'oscillographe, proprement dit (fig. 1), présente les particularités suivantes :

a) La source lumineuse est une lampe à incandescence de 40 volts 40 watts à filament très court. Cette lampe est allumée *en permanence*, mais elle est maintenue *au-dessous* de son régime normal (aux environs de 0,8 à 0,9 ampère), ce qui prolonge considérablement sa vie. La mise en marche de l'oscillographe ne nécessite donc pas l'allumage d'une lampe qui demande toujours, comme on le sait, un délai très important.

b) Les équipages oscillographiques — au nombre de 3 dans le type actuel — sont des équipages Dubois. Ces équipages — qui ont par ailleurs le défaut de posséder une fréquence propre relativement basse (1) — sont munis de grands miroirs concaves (de l'ordre de 1 cm^2); ils permettent donc de se passer de tous les dispositifs optiques usuels qui absorbent de la lumière, et grâce à eux on peut enregistrer sans difficulté les courbes de tensions et de courants sur un papier émulsionné ordinaire, *le spot étant fourni par la lampe à incandescence sous-voltée.* Les équipages oscillographiques ordinaires obligent au contraire à pousser le chauffage de la lampe; leur usage nécessite donc d'allumer cette lampe ou de lui donner son éclat optimum seulement au moment de l'enregistrement, d'où un temps mort important.

c) La bande sensible est portée par un tambour de 10 cm. de diamètre entraîné à raison de 1 tour en 5 secondes par un moteur à courant continu très robuste, muni d'un réducteur de vitesse à engrenage, *et qui tourne en permanence.*

d) Entre la lampe (toujours allumée) et les miroirs des oscillographes, est disposé un obturateur photographique automatique, dont l'ouverture est commandée par un électro-aimant. Après excitation de cet électro-aimant, l'ouverture de l'obturateur est pratiquement instantanée; sa fermeture, freinée par un dash-pot magnétique, s'effectue ensuite automatiquement au bout de 5 secondes, et provoque

(1) Cette fréquence propre est de l'ordre de 2500 p : s pour les équipages normaux.

alors la fermeture d'un contact qui permet d'alimenter une lampe de signalisation.

L'équipement comprend :

a) Un relais électromagnétique alimenté par le courant résiduel du réseau; il fonctionne dès qu'un défaut à la terre se produit dans le réseau, et la fermeture de ses contacts provoque l'excitation de l'électro de l'obturateur.

b) Un filtre de tension (type FU2 de la Cie des Compteurs) qui permet d'obtenir la composante « directe » et la composante « inverse » des tensions du réseau.

c) Un relais électromagnétique actionné par la composante « inverse » des tensions, issue du filtre susdit; ce relais fonctionne dès que les tensions du réseau sont suffisamment déséquilibrées (court-circuit entre deux phases ou à la terre), et la fermeture de ses contacts provoque aussi l'excitation de l'électro de l'obturateur.

d) Un certain nombre de relais — signalisation de fonctionnement, manque de courant, etc... dont le rôle n'est que secondaire.

Les trois équipages de l'oscillographe sont utilisés pour enregistrer : l'un la composante « directe » des tensions, l'autre la composante « inverse » des tensions, le troisième le courant de terre. Pour éviter tout relais additionnel, ces différents équipages sont branchés en permanence sur leurs sources de courant respectives; en particulier, l'équipage « tension directe » oscille continuellement.

Lss relais *a)* et *c)* sont des appareils très sensibles et très légers (type R. 18 de la Cie des Compteurs).

Le « temps mort » de l'appareil se réduit ainsi à celui de l'un des relais *a)* ou *c)* et à celui de l'obturateur ultra-rapid; il est au total de 1,5 période, soit 3 centièmes de seconde. Nous ne croyons pas que les appareils similaires construits à l'étranger, et qui nécessitent l'allumage complet ou partiel de la lampe, parfois même la mise en route de la bande sensible, fournissent de pareils résultats. Il est d'ailleurs à noter que la majeure partie de ce temps mort est absorbée par les relais; on pourrait donc certainement commencer l'enregistrement dès la première crête de l'onde de tension ou de courant de la période troublée, sans rien changer à l'appareil proprement dit, à condition d'utiliser des relais thermoioniques.

Exemples d'enregistrements.

Les quelques oscillogrammes reproduits ici, à titre d'exemple, ont été relevés sur le réseau à 60 KV de l'Union d'Electricité.

1° L'oscillogramme de la fig. 2 a été relevé au cours d'un court-circuit à la terre sur une ligne aérienne. 1 est le courant de terre, 2 la composante synchrone des tensions, 3 la composante inverse des tensions. Le courant de terre (1) a pris naissance 1,5 période avant le début de l'enregistrement A, et a été coupé en B, soit au bout de 20 périodes ou 0,4 seconde. Le courant de court-circuit a été limité par

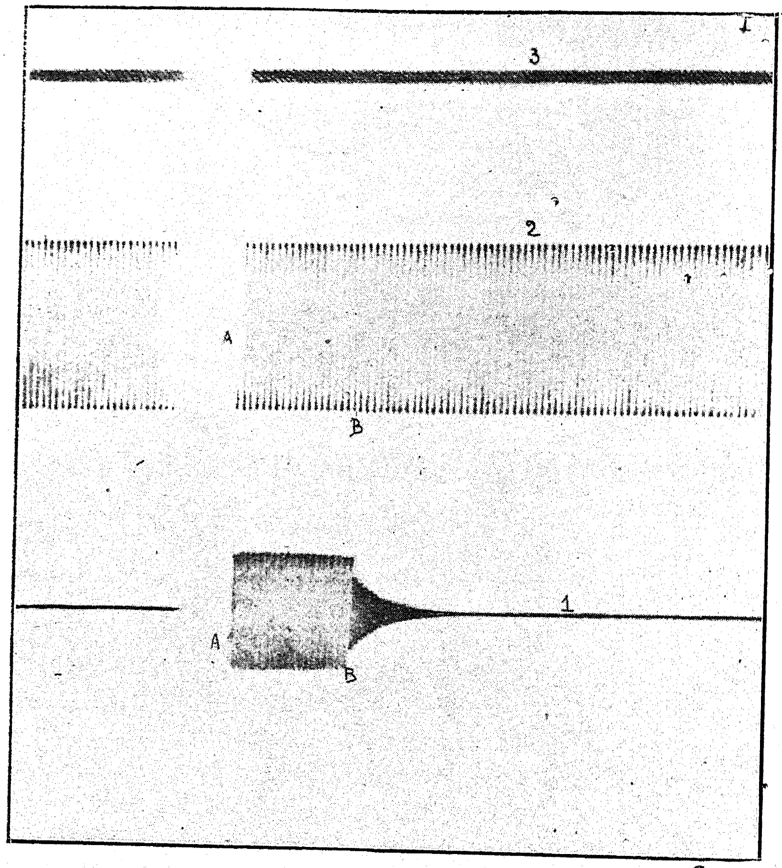


Fig. 2. — Oscillogramme relevé au cours d'un court-circuit entre une phase et la terre d'une ligne aérienne.

la réactance de la ligne et par celle de la bobine (10 ohms) insérée entre le neutre des transformateurs et la terre, aux environs de 1 800 ampères efficaces. Aussitôt après la coupure du courant de court-circuit, la courbe de courant décèle le régime transitoire dû à la présence de la bobine de neutre et qui se traduit par une oscillation libre amortie du courant résiduel à une fréquence de l'ordre de 80 périodes par seconde. Grâce à la présence de la bobine, la composante

synchrone des tensions (2) n'a baissé que d'une manière fort peu sensible pendant la durée du court-circuit (environ 15 %); de même la composante inverse des tensions n'a pas augmenté pendant le court-circuit d'une manière appréciable : la bobine de neutre a puissamment contribué à maintenir les tensions à leur amplitude normale.

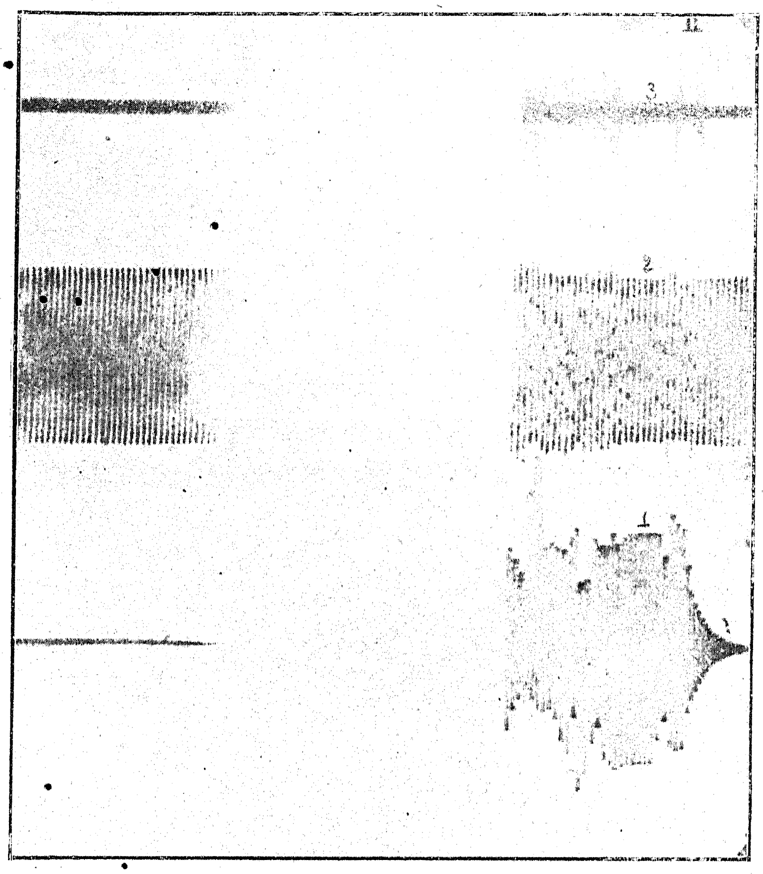


Fig. 3. — Oscillogramme relevé au cours d'un claquage de câble.

2° L'oscillogramme de la fig. 3 a été relevé au cours d'un claquage de câble à proximité immédiate d'une boîte d'extrémité. Le courant de court-circuit à la terre (1) traversant le diélectrique avarié du câble présente un certain nombre de discontinuités assez remarquables. Le court-circuit a été éliminé au bout de 32 périodes (0,65 seconde) par la protection différentielle, et la valeur efficace de sa composante alternative a été limitée à 3 500 ampères par la bobine de neutre. La composante synchrone des tensions n'a varié que de quelques pour cent autour de sa valeur normale.

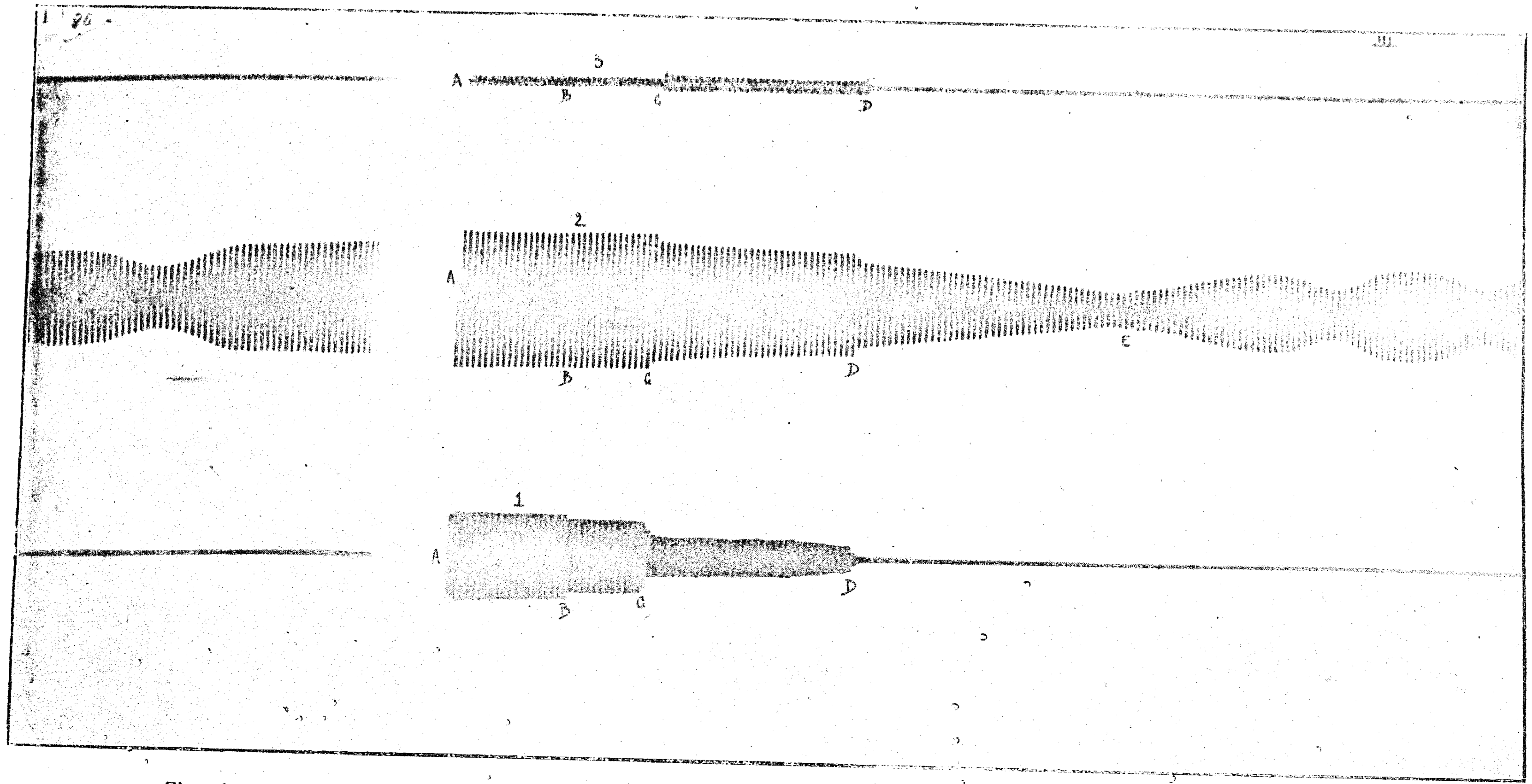


Fig. 4. — Oscillogramme relevé au cours d'amorçages successifs entre les trois phases d'une ligne aérienne et la terre.

3° L'oscillogramme de la fig. 4 se rapporte à un court-circuit multiple sur une ligne aérienne qui s'est produit au cours de la nuit, les machines synchrones étant alors sous-excitées. Le court-circuit a commencé en A (ou plus exactement 1,5 période avant le point A) par la mise à la terre d'une seule phase. Entre A et B (20 périodes) l'arc s'est maintenu entre une seule phase et la terre, avec un courant d'environ 1 400 ampères efficaces; la composante synchrone des tensions (2) n'a baissé que de 6 % et la composante inverse (3) est restée très faible. Au point B, et entre B et C (13 périodes), le courant de terre (1) tombe brusquement à environ 1 200 ampères, la composante directe des tensions (2) n'accuse pas d'accident sensible : l'interrupteur situé à une des extrémités de la ligne bouclée avec une autre s'est ouvert, ce qui a eu pour effet d'augmenter la réactance apparente entre l'usine et le défaut. Au point C et entre C et D (34 périodes) le courant de terre tombe de nouveau aux environs de 1 000 ampères, mais la composante directe des tensions (2) accuse une nouvelle chute importante, tandis que leur composante inverse (3) augmente sensiblement : l'arc a atteint une seconde phase de la ligne, ce qui a eu pour effet de diminuer la composante résiduelle du courant et d'augmenter la chute de la tension.

Au point D le courant de terre disparaît, ainsi que la composante inverse des tensions, mais la composante directe des tensions subit une nouvelle chute et tend à diminuer vers zéro jusqu'au point E : l'arc a atteint la troisième phase, ce qui rend le défaut symétrique, et annule à la fois le courant de terre et la composante inverse des tensions. Au point E (45 périodes après le point D) le court-circuit est enfin coupé, mais la composante directe des tensions est tombée à 23 % de sa valeur normale et les machines synchrones ont été fortement désexcitées; c'est pourquoi, après la coupure du court-circuit, elles n'ont repris que lentement leur tension normale en oscillant les unes par rapport aux autres, ce qui a produit dans la courbe des tensions une série de battements très accusés.

Ce dernier oscillogramme montre qu'au cours de cet incident, le système de protection n'a pas fonctionné assez vite ; le court-circuit a en effet duré un peu plus de deux secondes, et l'arc a ainsi pu se propager successivement sur les trois phases. Si le court-circuit avait été coupé avant le point C, c'est-à-dire en moins de 0,65 seconde, l'à-coup sur le réseau serait resté insensible.

OUVRAGES OFFERTS A LA SOCIÉTÉ

Production et utilisation mécanique de l'Electricité

— **Applications de l'Electricité à la Marine**, par Rigaud, Marget et Routin, 1930. Un volume 23×15cm 320 pages, 126 figures. Baillère, rue Hautefeuille. — *Don de l'Editeur.*

Eclairage et Chauffage

— **The Theory and Design of illuminating engeneering Equipment**, by W. Jolley, Waldram, H. Wilson, members of the staf of the Research Laboratories of the General Electric C°, Ltd, Wembley, England. Un volume 24,5×16,5 cm.. 709 pages, 555 figures. Editeurs : Chapman et Halls, London. — *Don de l'Editeur.*

— **La technique cinématographique**, par Léopold Lobel. Edité par Dunod, 92, rue Bonaparte, à Paris. Un ouvrage de 25×16cm, 326 pages. 1927. — *Don des Editeurs.*

Chimie. — Electrochimie

— **Uber die elektrolytische Oxydation und die Eigenschaften den Tartronsäure**, par Arvit Talvitie, édité par Suomalainen Tiedeakademia Helsinki. Un ouvrage de 25×14cm, 156 pages, 1929. — *Don des Editeurs.*

Appareillage. — Traction

— **Selektiv Schutzeinrichtungen fur Hochspannungsanlagen**, par M. Walter, 1929. Un volume 23×14,5cm, 128 pages, 77 figures. Oldenbourg, Munich et Berlin. — *Don de l'Editeur.*

Recherches physiques. — Appareils de mesure

— **Activation et structure des molécules.** Réunion internationale de chimie physique 1930. Un volume 26×18cm, 569 pages. Editeur : Presses Universitaires de France, 49, boulevard Saint-Michel. — *Don de l'Editeur.*

— **Activation et structure des molécules**, rapports et discussions, Paris 8-12 octobre 1928, réunion internationale de chimie-physique, R. Audubert et Mlle Claudel. Un volume 26×18cm, 572 pages. Editeur : Les Presses Universitaires de France, 49, boulevard Saint-Michel, Paris. — *Don de l'Editeur.*

ordance de l'arrangement quantique de base des électrons plané atomes avec la classification scalariforme, hélicoidale des élé iques, par Ch. JANET. Edité par . Un ouvrage de 4 pages, 6 planches. — *Don des Editeurs.*

mica fisico, quimica comparada, par Horacio DAMIANOVICH, 1930. , 26,5×16,5^{cm}, 76 pages. Editeur : Imprenta de la Universidad, es. — *Don de l'Editeur.*

lektro Magnete, par E. JASSE. Edité par Julius Springer, à Berlin. de 26×16^{cm}, 198 pages, 117 figures, 1930. — *Don des Editeurs.*

Noise. Report of the commission. Noise Abatement Commission HIRLEY W. WYNNE. Un volume 23×15^{cm}, 308 pages. Editeur : Crown Department of Health city of New-York. — *Don de*

rolytic Conduction, par F.-H. NEWMAN. Edité par Chapman et ondres. Un ouvrage de 22×14^{cm}, 441 pages, 71 figures, 1930. — *liteurs.*

rons et Photons, rapports et discussions du 5^e Conseil de Phy- tut International de Phys. Solvay 1930. Un volume 25×16,5^{cm}, Editeur : Gauthier-Villars, quai des Grands-Augustins, 55. — *diteur.*

io grafico de la cinematica de los Sistemas rigidos. Pedro Lo- olume, 1930, 122 pages. Editeur : Imprenta de la Universidad s. — *Don de l'Editeur.*

s et Atomes, par Ante A.-S. EDDINGTON, traduction ROSSIGNOL, lume 22,5×14^{cm}, 188 pages, 13 figures. Editeur : Hermann, 6, orbonne. — *Don de l'Editeur.*

ung un Technik, par W. PETERSEN. Edité par Julius Springer à ouvrage de 29×25^{cm}, 576 pages, 597 figures, 1930. — *Don des*

écanique ondulatoire et les nouvelles théories quantiques, par , traduit de l'allemand par MM. BOGROS et ESCLANGOU, 1930. Un ×13^{cm}, 194 pages. Gauthier-Villars, quai des Grands-Augustins. *de l'Editeur.*

ayons X et leurs applications : Radiothérapie, Radioactivité. Radiographie, par Ernest COUSTET. Edité par Delagravé, 15, , à Paris. Un ouvrage de 26×17^{cm}, 114 pages, 76 figures, 1930. *Editeurs.*

au réseau magnétique de France au 1er janvier 1924, par E. ité par les Presses universitaires de France, 49, boulevard Saint- ris. Un ouvrage de 38×24^{cm}, 62 pages, 1 carte, 1930. — *Don des*

nènes diélectriques dans la technique des Hautes Tensions, par Traduit sur la 2^e édition américaine par Robert ACKERMANN. apman et Hall's, à Londres. Un ouvrage de 25×16^{cm}, 316 pages, 1924. — *Don des Editeurs.*

on entre les phénomènes solaires et terrestres, document n° international de Recherches, 1929. Un volume, 130 pages. Edi- ie Chiron, 40, rue de Seine, à Paris. — *Don de l'Editeur.*

— **Remarques sur la pression électrostatique des foudres sphériques**, par E. MATHIAS, 1930. Un volume 24×15^{cm} Editeur : Librairie d'Enseignement, 3, rue Thénard. — *Don de l'Editeur.*

— **Sur la relation courant température dans les filaments pyrométriques de tungstène**, par G. RIBAUD. Publication du Journal de Physique et le Radium, de la Société Française de Physique. Edité par la Revue Générale de l'Electricité, 2, place Laborde, à Paris. Un ouvrage de 27×18^{cm}, 11 pages, 2 figures, 1930. — *Don des Editeurs.*

— **Température des flammes et rayonnement des gaz incandescents des flammes**, par G. RIBAUD. Edité par Hermann, 6, rue de la Sorbonne, à Paris. Un ouvrage de 27×15^{cm}, 43 pages, 13 figures, 1930. — *Don des Editeurs.*

— **Wellenmechanik**, par E. SCHRÖDINGER. Edité par Ambroseris Barth, à Leipzig. Un ouvrage de 24×16^{cm}, 14 figures, 1928. — *Don des Editeurs.*

MÉCANIQUE APPLIQUÉE

— **Der Werkzeumaschinenbau**. Fritz werner aktiengesellschaft Berlin Hans DOMINIK. Un volume 22×14^{cm}, 80 pages, 67 figures, 1930. Editeur : Organisation Verlagsgesellschafy m.t.h (S. Hirzel) Berlin, W 8, Leipziger Strasse 115-116. — *Don de l'Editeur.*

CONGRÈS, ACTES OFFICIELS, ANNUAIRES

— **Annuaire** de l'Association des anciens élèves de l'Ecole supérieure de la métallurgie et de l'industrie des mines de Nancy, 1930. Un volume. Editeur : l'Association, 15, place Carnot, Nancy. — *Don de l'Association.*

Annuaire de l'Association des anciens élèves de l'Ecole centrale Lyonnaise, Institut technique supérieur de l'Université de Lyon, 1930. Un volume 24×15^{cm}, 388 pages. Editeur : Ecole centrale Lyonnaise. — *Don de l'Editeur.*

— **Annuaire**, Association amicale des anciens élèves de l'Ecole de physique et de chimie industrielles de la ville de Paris, 1930. Un volume, 196 pages. Editeur : Ecole de Phys. et Chimie, 10 rue Vauquelin. — *Don de l'Editeur.*

— **Annuaire** de la Confédération des Sociétés scientifiques françaises, 1930. Un volume, 77 pages. Editeur : Presses Universitaires de France, 49, boulevard Saint-Michel. — *Don de l'Editeur.*

— **Annuaire**, Ecole nationale des Mines 1930-1931. Un volume. Editeur : Ecole nationale des Mines, 39, rue Godot de Mauroy. — *Don de l'Editeur.*

— **Annuaire** de la Société des ingénieurs civils de France, 1930. Un volume. Editeur : Société, 19, rue Blanche. — *Don de la Société.*

— **Annuaire** de l'Association amicale des anciens élèves de l'Institut national technique agronomique (promotions 1876 à 1928), 1930. Un volume. Editeur : Amicale des élèves de l'Institut agronomique 5, quai Voltaire. — *Don de l'Editeur.*

— **Annuaire de l'Université de Zagreb**. Edité par l'Université de Zagreb en Yougo-Slavie. Un ouvrage de 23×15^{cm}, 126 pages, 1930. — *Don des Editeurs.*

— **Anuario**, Universidad national de la Plata. Facultad de ciencias Fisicomatematicas, 1930. Un volume, 87 pages. Editeur : Facultas de ciencias Fisicomatematicas La Plata (Rep. Argentina). — *Don de l'Editeur.*

Congrès. — Commémoration

— **France-Belgique**, Exposition de Liége, 1930. Un volume, 23×11^{cm}, 267 pages. Editeur : Office d'Editions d'art, 4, rue de Castellane, à Paris (8^{e}). — *Don de l'Editeur.*

— **La Société Géologique de France de 1880 à 1929.** Extrait du livre jubilaire du centenaire de la Société Géologique de France 1830-1930. Emm. de Margerie. Un volume 28×23^{cm}, 79 pages. Editeur : Société Géologique de France. — *Don de l'Editeur.*

— **Vocabulaire électrique**, fascicule 12, mars 1926. Comité Electrotechnique française. Un volume, 27×21^{cm}, 63 pages. Editeur : le Comité. — *Don du Comité.*

Formulaires. — Aide-mémoire

— **Agenda Dunod. Physique industrielle**, par J. Izard. Edité par Dunod, 92, rue Bonaparte, à Paris. Un ouvrage de 16×10^{cm}, 398 pages, 1931. — *Don des Editeurs.*

— **Agenda Dunod. Electricité**, par L.-D. Fourcault. Edité par Dunod, 92, rue Bonaparte, à Paris. Un ouvrage de 16×10^{cm}, 447 pages, 1931. — *Don des Editeurs.*

— **Album général 1928 des aciéries de Longwy.** Publié et édité par la Société des aciéries de Longwy, à Mont-Saint-Martin (Meurthe-et-Moselle), France. Un ouvrage de 27×21^{cm}, 698 pages, 1928. — *Don des Editeurs.*

— **Handbuch der Experimental Physik.** Angewand te Geophysik. 3^{e} teil 1930 Un volume 24×17^{cm}, 556 pages, 253 figures. Editeur : Akademische verlags gesellschaft M. B. H. Leipzig.

— **Rapports préparés par le comité national Roumain pour la conférence mondiale de l'Energie** (Berlin 1930). Institut national Roumain pour l'Aménagement des sources d'énergie. Un volume 23×18^{cm}, 96 pages, 7 figures. Editeur : Bucarest. — *Don de l'Editeur.*

Eseignement

— **Cours d'Electrotechnique**, par M. A. Iliovici, ingénieur conseil.

Livre III. Etude générale des courants alternatifs. Transformateurs. Un volume 25×17^{cm}, 442 pages, 208 figures. Deuxième édition 1926.

Livre IV. Générateurs et moteurs à courants alternatifs. Commutatrices. Un volume 25×17^{cm}, 368 pages, 160 figures. Deuxième édition 1926.

Edition de l'Ecole spéciale des Travaux Publics, rue du Sommerard. — *Don de l'Editeur.*

BIBLIOGRAPHIE DES OUVRAGES OFFERTS

Production et utilisation mécanique de l'Electricité

Applications de l'Electricité à la Marine par L. J. M. Rigaud, ancien Ingénieur en Chef de la Marine, et Ed. Marget, ancien professeur à l'Ecole de guerre navale, et à l'Ecole d'Application d'artillerie navale, complété par Appareils à Télécommande et de Télépointage, par J.-L. Routin, Maître de conférences à l'Ecole Supérieure d'Electricité. Ingénieur Conseil des Etablissements Schneider et Cie, un volume de 23 × 16 cm., de 320 pages, de 136 figures 1930, Librairie J.-B. Baillère et Fils, 19, rue Hautefeuille, Paris. Editeurs. Prix 60 fr.

La publication de cet ouvrage, très clair et très documenté, comble une lacune sérieuse, aucun ouvrage de cette nature n'ayant paru en France. Son intérêt est d'autant plus grand que l'Electricité a conquis les services mécaniques de commandes de tous les engins de bord pour être même appliquée à la propulsion des grands navires, et qu'il y a là un champ très vaste de recherches et de perfectionnements.

Les auteurs ont orienté leur démonstration dans le sens le plus pratique des réalisations, présentant dans un ordre logique d'une étroite analogie, les multiples applications de l'électricité aux différents services d'un bateau de guerre ou de commerce.

La première partie traite des « Services électriques à bord » : éclairage, — commandes à distance, — transmetteurs d'ordres et appareils de communication, — projecteurs, — ventilateurs, pompes, compresseurs, moteurs divers, — treuils, cabestans, grues d'embarcations, monte-charges, norias, — commande de la barre soit par moteur de barre à vapeur asservi à un moteur électrique asservi lui-même à sa commande, soit par moteur de barre à vapeur asservi à un moteur électrique non asservi lui-même à sa commande, soit par commande directe électrique, soit enfin par commande hydro-électrique, — pointage des canons et tourelles.

Il convient de souligner la façon très attachante dont est traitée la partie qui concerne le problème des commandes à distance, problème capital pour un navire de guerre eu égard à l'augmentation considérable de sa valeur de combat qui peut résulter d'une heureuse solution de cette question si complexe.

La deuxième partie traite des « Génération et distribution de l'électricité. Conditions particulières aux installations de bord ». Elle montre très nettement le problème spécial qui se pose et les réalisations diverses qui ont été adoptées.

La troisième partie traite de « La propulsion électrique ». Sans oublier le cas de la propulsion des sous-marins et des accumulateurs que celle-ci comporte, elle montre les solutions adoptées, soit en courant continu, soit en courant alternatif, et discute les avantages et inconvénients de ces deux systèmes. Là encore, ayant très clairement exposé le problème à résoudre, les auteurs ont indiqué les systèmes réalisés, en détaillant certaines installations, et notamment celle d'un cuirassé, le « New-Mexico ».

La quatrième partie traite des « Appareils et dispositifs utilisés pour réaliser le télépointage et la télécommande ». L'intérêt de cette question, pour un navire de guerre a été souligné dans ce qui précède ; aussi est-il particulièrement heureux que cette partie soit présentée par un ingénieur tout à fait qualifié à ce sujet, par les réalisations fort intéressantes qu'on lui doit.

Eclairage et Chauffage

The theory and design of Illuminating Engineering Equipment par L.B. W. Jolley, J M. Waldran et G. H Wilson, Membre of the Staff of the Research Laboratories of the General Electric Co Ltd un volume relié de 25 × 16.5 cm de 709 pages, 533 figures, 62 tableaux, 6 appendices, 1 index. Chapman and Hall Editeur (Centenaire 1830-1930)

Les auteurs, comme ils l'indiquent dans la préface, ont voulu combler une lacune qui leur semblait exister dans la littérature consacrée à la science de l'éclairage. Alors que l'on peut consulter un grand nombre de livres excellents sur la Photométrie et que d'autre part l'ingénieur éclairagiste a à sa disposition une bibliographie importante, les ouvrages concernant exclusivement les conditions techniques d'établissement des appareils d'éclairage sont rares.

Le livre est divisé en cinq parties :

La première partie intitulée « Principes fondamentaux » rappelle les conditions physiologiques de la vision ainsi que les méthodes de calcul utilisées en photométrie.

La seconde partie traite des différentes sources lumineuses et plus particulièrement des lampes électriques à incandescence et des lampes à arc.

Dans la troisième partie qui forme véritablement le corps du livre, les deux premières ne constituant qu'un avant-propos, les auteurs abordent l'étude des appareils d'éclairage.

Ils définissent d'abord les différents types d'appareils et leur adaptation aux conditions d'utilisation, puis ils précisent les conditions d'établissement en s'étendant longuement sur la conception et la fabrication des parties diffusantes, réfléchissantes et réfractantes.

Des chapitres spéciaux sont consacrés à la construction des phares, projecteurs, feux de signalisation, appareils de cinématographe et lanternes de projection.

La technique des lumières coloriées et en particulier l'établissement des lampes « lumière du jour », ainsi que la description de certains appareillages spéciaux (éclairages des scènes de théâtre, enseignes lumineuses, éclairage des studios, éclairage des aéroports, lampes portatives) font l'objet des derniers chapitres de la troisième partie.

Dans la quatrième partie sont décrits les équipements électriques auxiliaires utilisés dans les installations d'éclairage et en particulier les dispositifs assurant la distribution à courant constant pour l'éclairage des voies publiques ainsi que ceux correspondant à la signalisation lumineuse, au contrôle de l'éclairage des scènes de théâtre, etc.

La cinquième partie est constituée par différents appendices, tables, courbes de répartition lumineuse.

En résumé cet ouvrage précise très complètement l'état actuel de la technique des appareils d'éclairage ; il pourra être consulté avec fruit, non seulement par les spécialistes mais encore par tous ceux qui s'intéressent aux questions d'éclairage.

La Technique Cinématografique (projection fabrication des films), par E. Lobel, Directeur technique des « Etablissements Filmograph » 3e édition. un volume de 16 × 25 cm. de 342 pages, 326 figures, 1927. Dunod, 92 rue Bonaparte, Editeur. Hommage de l'Editeur.

Cet ouvrage est l'auxiliaire des opérateurs de cinéma, des fabricants de film et des directeurs de salles de projection. Il contient la description des types les plus modernes d'appareils de prise de vues et de projection et un chapitre spécial est consacré aux soins à donner aux appareils pour leur assurer une longue durée et un fonctionnement parfait. Cette troisième édition donne tous les renseignements utiles sur l'emploi des arcs à miroir, l'éclairement des écrans, l'agencement des salles de spectacle, etc. La deuxième partie consa-

crée à la fabrication des films constitue un traité élémentaire mais complet de cette technique et l'ouvrage dans son ensemble s'adresse aussi bien aux profanes qu'aux professionnels de la cinématographie.

Chimie. — Electrochimie. — Electrométallurgie

Uber die Elektrolytische oxydation und die eigenschaften der tartronsäure, par Arvi Talvitie, un volume de 17 × 25 cm., de 155 pages, 23 figures, Helsinki 1929, Suomalainen Tiedeakatemia.

L'auteur de cet ouvrage a rassemblé les renseignements les plus complets sur l'oxydation électrolytique et les propriétés de l'acide tartrique.

Après avoir rappelé les diverses préparations, ainsi que les propriétés chimiques de cet acide organique, l'auteur indique le mode opératoire, examine le processus de l'oxydation électrolytique de l'acide tartrique et analyse les résultats obtenus. Il s'étend sur divers essais effectués en employant des anodes de métaux différents avec et sans dépolarisant, puis discute les résultats de ces essais.

Le lecteur trouvera dans cette brochure des renseignements intéressants sur cette question bien particulière qui, d'ailleurs, fait l'objet de la thèse de doctorat de l'auteur.

Appareillage. — Traction

Selektiv-Schutzeinrichtungen fur Hochspannungsanlagen par Walter, un volume de 22.5 × 14,5 de 127 pages, R. Oldenbourg, Munchen 32 und Berlin, W 10 Editeur.

Cet ouvrage est consacré à l'étude des relais d'impédance utilisés pour la protection sélective des installations à haute tension. Dans une première partie, l'auteur indique les principes de fonctionnement de ces relais également appelés relais de distance, il donne divers schémas de relais et décrit un certain nombre d'appareils de A. E. G., B. B. C., S & H, Dr Paul Meyer A. G.

L'auteur examine ensuite l'effet des courts-circuits dans les réseaux à courant alternatif et donne les méthodes fondamentales à utiliser pour le calcul des courants de court-circuit dans les réseaux.

Il met en évidence par des exemples pratiques le principe du calcul des contraintes thermiques et dynamiques dans des installations, après un court-circuit, dans le cas de réseaux avec ou sans bobines de réactance.

Il indique enfin divers systèmes de protection pour alternateurs, transformateurs, commutatrices, lignes aériennes, câbles souterrains et transformateurs de mesure.

Recherches physiques. — Appareils de mesure.

Activation et structure des molécules, rapports et discussions de la réunion internationale de Chimie physique des 8-12 octobre 1928, publiés par René Audubert et Mlle M.-L. Claudel. Un volume de 26 × 18 cm, de 570 pages, 1929. Les Presses universitaires de France, 49, boulevard Saint-Michel, Paris, Editeurs.

Cet ouvrage est un recueil des rapports et discussions présentés par divers représentants d'industries chimiques et professeurs de facultés de plusieurs pays à la réunion internationale de chimie physique tenue à Paris du 8 au

12 octobre 1928. Certains de ces rapports sont en français, d'autres en anglais et en allemand. Ils sont précédés d'un court résumé rédigé en français. Tous ces rapports traitent des progrès récents accomplis par la Physique dans l'interprétation des phénomènes chimiques : relation entre l'équilibre chimique et la cinétique chimique, mécanisme de la combustion, rigidité des molécules, théorie électrolytique et la catalyse, ionisation de température, étude au spectroscope du polymorphisme des acides gras, etc. Cet ouvrage se termine par une conférence de M. P. Langevin sur les nouvelles mécaniques de la chimie.

City Noise. Rapport de la commission chargée d'étudier la question du bruit à New-York. Un volume de 23 × 15 cm. de 300 pages, 1930, nombreuses photographies. Edité par Academy Press New-York.

Cet ouvrage donne le compte rendu des travaux de la commission constituée en 1929 à New-York pour étudier les moyens de réduire les bruits de la vie moderne. Il donne l'exposé des motifs qui ont montré l'utilité de cette étude, les bruits qui accompagnent les manifestations de l'activité moderne, ayant une répercussion néfaste sur l'état général de la santé des habitants des villes. Ces répercussions font l'objet d'un rapport des docteurs faisant partie de la commission. Ensuite on a étudié et mesuré les divers bruits, ce qui a nécessité la mise au point de toute une technique nouvelle comportant ses unités propres et ses appareils de mesure. Une propagande en faveur de la réduction des bruits a été faite par conférences radiophoniques et un certain nombre d'entre elles figurent dans la seconde partie de l'ouvrage. La dernière partie est consacrée à l'étude des moyens propres à ramener un peu de quiétude dans l'atmosphère des grandes villes. Dans l'appendice on trouve une étude sur l'effet du bruit sur le rendement des ateliers.

Die Elektromagnete. (Principes sur le calcul des champs et des forces magnétiques), par Erich JASSE, un volume de 17 × 25 cm. de 198 pages, 117 figures 1930, Verlag von Julius, Springer, Editeur.

Ce livre rappelle les lois élémentaires du calcul des forces magnétiques des électro-aimants et étudie plusieurs exemples.

Les formules qui y sont établies n'ont pas un caractère définitif pour permettre aux constructeurs de les adapter sans difficulté au calcul des cas pratiques. Les différents chapitres traitent successivement :

1° Du champ électromagnétique et des lois de l'induction.
2° Des forces dans un champ magnétique.
3° Des électro-aimants de répulsion.
4° Des électro-aimants d'attraction et des électro-aimants à entrefer coniques, en indiquant les différents modes de construction et de calcul.
5° Des électro-aimants à courant alternatif (calcul de l'énergie et de la force d'attraction, mesures).
6° Du calcul des bobinages pour courants continus et alternatifs, détermination et construction des noyaux.
échauffements en fonctionnement intermittent.
7° Des échauffements des électro-aimants (détermination et mesures), pertes,
8° Bibliographie.

Estudio Grafico de la cinematica de los sistemas rigidos, par Pedro LONGHINI, Ingeniero civil, jefe de trabajos practicos de mecanica. Un volume de 17 × 27 cm. de 122 pages, de 63 figures, 1 appendice 1930. Buenos-Aires Imprenta de la Universidad.

Cette thèse comporte deux parties.

La première partie traite des vecteurs glissants, des complexes linéaires et de la représentation plane des éléments géométriques de l'espace, — des complexes

linéaires et de la représentation plane des vecteurs glissants de l'espace. — des systèmes de vecteurs glissants conjugués, avec représentation du professeur Mayor, — de la représentation des vecteurs par la méthode de W. Prager.

La deuxième partie définit, dans la cinématique des systèmes rigides, les vitesses et les accélérations avec leurs déterminations graphiques.

Dans un appendice, l'auteur montre que tout système articulé de l'espace peut être représenté d'une infinité de manières différentes par un système articulé plan, tel que le calcul de ce dernier conduise immédiatement à la solution du système de l'espace.

La Mécanique ondulatoire et les nouvelles théories quantiques, par Artur Haas, Professeur de Physique à l'Université de Vienne un volume de 18,5 × 13,5 cm de 198 pages 1930. Gauthier Villars et Cie, Editeurs, 55, Quai des Grands Augustins (Hommage de l'éditeur)

Cet ouvrage intéresse particulièrement tous ceux qui en sont restés dans l'étude de la Physique aux théories que l'on enseignait partout il y a un quart de siècle et qui étaient basées sur les principes de Galilée, Huyghens et Newton.

L'auteur montre d'abord comment le problème de la mécanique atomique, par l'intervention de la relativité et des quanta, a bouleversé les principes de la mécanique classique. Il expose ensuite la mécanique ondulatoire de de Broglie et fait entrevoir sa relation avec la théorie de la relativité.

Suivent les théories de Schrodinger, de la mécanique quantique de Heisenberg, de la mécanique des Matrices, du principe de Pauli sur la quantification des états atomiques, de la statistique quantique de Bose, de la statistique de Fermi.

Les derniers chapitres traitent de l'action des ondes lumineuses et matérielles sur l'atome, de la résonance dans la mécanique quantique, de la découverte du parahydrogène, de la théorie ondulatoire de la radioactivité, de la théorie de l'électron de Dirac.

Les Rayons X et leurs applications Radiothérapie, Radioactivité, Radioscopie, Radiographie, par Ernest Coustet, un volume de 17 × 26 cm. de 114 pages 11 planches radiographiques et 76 figures, 1914. Librairie Delagrave, 15, rue Soufflot, à Paris, Editeur.

Dans cet ouvrage de 114 pages, luxueusement édité et orné de nombreuses gravures ainsi que de reproductions photographiques hors-texte, l'auteur rappelle tout d'abord les principaux phénomènes qui accompagnent les décharges dans les gaz raréfiés et retrace l'historique de la découverte des rayons X.

Il examine ensuite successivement les divers dispositifs utilisés pour la pro-
duction, la mesure et l'utilisation de ce rayonnement : un chapitre est con-
sacré à l'action physiologique des rayons X ainsi qu'à leur utilisation théra-
peutique.

Dans le dernier chapitre de l'ouvrage l'auteur signale l'analogie entre le
rayonnement de Rœntgen et celui des corps radioactifs et indique l'utilisation
des rayons X émis par ces derniers.

**Relations entre les phénomènes solaires et terrestres. document n° 216 Un
vol de 24 × 15,5 cm de 130 pages. Editeur : Etienne Chiron, 40, rue de
Seine, Paris.**

Cet ouvrage est composé des divers rapports établis par les membres de la
commission constituée en juin 1924 pour l'étude des relations entre les phéno-
mènes solaires et terrestres. Le premier ouvrage de ce genre a été présenté en
juillet 1925. Celui-ci est le second de la série. Les divers rapports traitent
les sujets suivants : relation entre les éruptions solaires et les orages ter-
restres. Activité du soleil et transmissions par sans fil. Rôle de la très haute
atmosphère dans la propagation des ondes radioélectriques, les variations du
magnétisme terrestre. Etudes sur les aurores boréales, propagation du son aux
grandes distances. Ces divers articles sont rédigés en anglais, en français et en
allemand.

Photographie des couleurs par J. THOVERT, professeur à la Faculté des Sciences de Lyon (Encyclopédie Scientifique publiée sous la direction du Dr TOULOUSE); un volume de 287 pages, 100 figures 17,5 × 15 cm. Gaston DOIN. Editeur, 8, place de l'Odéon à Paris 6e.

Ce livre fait partie de la Bibliothèque de Photographie dirigée par M. A. Seyewetz, sous-directeur de l'Ecole de chimie industrielle de Lyon, et qui comprend 11 volumes. Il est consacré à l'exposé de nos connaissances sur la vision colorée et à l'étude des procédés imaginés pour la reproduction des couleurs : méthode différentielle de Lippmann, procédé par images dispersées, par images trichromes, par plaques à réseau trichromé, par adaptation. L'étude de « l'Autochrome Lumière » tient naturellement une grande place dans ce livre fort complet bien que d'une lecture facile et qui présente un grand attrait pour l'amateur photographe et pour toutes les personnes qui s'intéressent à l'application de nos connaissances objectives sur la vision colorée.

Œuvres scientifiques, de JULES JANSSEN, membre de l'Institut de France et du Bureau des Longitudes. Directeur de l'observatoire d'astronomie Physique de Meudon, recueillies et publiées par HENRY DEHERAN, Conservateur de la Bibliothèque de l'Institut de France. Tome II 1930. Un volume de 25.5× 16,5 cm de 615 pages, édité par la Société d'éditions géographiques, maritimes et coloniales, 184 Boulevard St Germain, Paris (6e)

Ce tome II est un recueil chronologique depuis l'année 1886 jusqu'à 1907 des notes, communications, discours académiques de Jules Janssen, membre de l'Institut.

Ces documents se réfèrent à la photographie solaire et céleste, aux éclipses, à l'application de la photographie à la météorologie, à l'analyse spectrale, aux travaux effectués à l'Observatoire du Mont Blanc dont il a été le fondateur et à celui de Meudon dont il était le directeur, à l'aéronautique, etc.

La forte culture classique de Janssen donne un attrait spécial à ses communications académiques et particulièrement aux nombreux discours de réception et aux allocutions nécrologiques qu'il a dû prononcer en sa qualité de membre de l'Institut.

FORMULAIRES. — AIDE-MÉMOIRE

Handbuch des Experimentalphysik. Akademische Verlagsgesellschaft m. b. h. — Tome XXV — 3e partie — Geophysik appliquée sous la direction de G ANGENHEISTER, de Gœttingen. Un volume relié 25 × 15 de 555 pages, 253 figures.

Ce volume traite des sujets suivants :

I. Les bases géologiques de la Géophysique appliquée, 44 pages, par H. Reich (Berlin).

II. Les méthodes gravimétriques de la Géophysique appliquée, 163 pages, par Karl Jung (Potsdam).

III. La Seismologie de l'atmosphère et du sol, 89 pages, par O. Meisser et H. Martin (Iéna).

IV. Les méthodes magnétiques de la Géophysique appliquée, 100 pages, par H. Haalk (Postdam).

V. Les méthodes électriques de la Géophysique appliquée, 66 pages, par J. N. Hummel (Gœttingen).

VI. L'application pratique des méthodes électriques, 50 pages, par W. Heine (Munchen).

VII. Les méthodes radioactives, 23 pages, par J. N. Hummel (Gœttingen).

ENSEIGNEMENT ET DIVERS

Cours d'Electrotechnique, professé par A. ILIOVICI, ingénieur-conseil, ancien chef de Travaux au Laboratoire Central et à l'Ecole Supérieure d'Electricité, Expert près la Cour d'Appel et le Conseil de Préfecture, arbitre au tribunal de Commerce. Livre III (Etude générale des courants alternatifs transformateurs) un volume de 22,5 × 17,5 cm de 442 pages 2 8 fig. 1926. Edité par l'Ecole spéciale des Travaux Publics, rue du Sommerard. Livre IV (générateurs et moteurs à courants alternatifs commutatrices), un volume de 22,5 × 27,5 cm de 368 pages 160 fig., 1926. Edité par l'Ecole spéciale des Travaux Publics, rue du Sommerard. (Hommage de l'Editeur).

Livre III (442 pages) :

Dans la première partie de cet ouvrage, l'auteur, après avoir rappelé les définitions élémentaires, expose la théorie générale des courants alternatifs et développe en détail la solution des problèmes fondamentaux que pose la nature spéciale de ces courants. Des exemples numériques judicieusement choisis ainsi que l'interprétation pratique des résultats atténuent le caractère abstrait des démonstrations mathématiques.

La deuxième partie est consacrée à l'étude des transformateurs statiques qui y sont examinés à la fois du point de vue de leur construction et de leur fonctionnement. Cette partie, qui est illustrée par des planches photographiques hors-texte, se termine par un chapitre particulièrement précieux pour le technicien et où l'auteur expose en détail la marche à suivre pour l'élaboration du projet d'un transformateur industriel.

Livre IV (368 pages) :

Ce tome, qui fait suite au précédent, est entièrement consacré à l'étude des alternateurs, des divers types de moteurs à courant alternatif et des commutatrices. Le fonctionnement de toutes ces machines et l'influence des divers facteurs susceptibles de le modifier y font l'objet d'une analyse minutieuse. Cet ouvrage dont la partie descriptive est également illustrée par des photographies hors-texte, se signale comme le précédent par la clarté de la rédaction à la fois simple et précise ainsi que par la netteté des figures et des diagrammes.

Œuvres de Maine de Biran, par PIERRE TISSERAND, Docteur-ès lettres, agrégé de philosophie. Deux volumes de 23 × 14 cm, respectivement de 555 pages et de 195 pages Librairie Félix Alcan, Paris. Les deux volumes ensemble 80 fr.

Cet ouvrage est un recueil des lettres échangées entre Maine de Biran et divers savants et philosophes parmi lesquels Van Hultem, Comte de Feletz, de Gerando, Cabanis. La partie la plus importante est composée par la correspondance échangée avec de Tracy et Ampère. Cette correspondance est en partie inédite. Malgré le titre, elle contient plutôt des lettres écrites à Maine de Biran, que des lettres de Biran lui-même.

La lecture de cet ouvrage présentera un attrait particulier pour tous ceux qui apprécient les hautes vertus de Maine de Biran qui fut à la fois un savant mathématicien et un métaphysicien profond, aimant tous les arts et toutes les sciences.

En dehors de ces lettres l'ouvrage contient des notices sur chacun des correspondants de Maine de Biran et des considérations sur les dispositions philosophiques de ceux-ci, documentation qui concourt à rendre cette lecture des plus intéressantes.

Commémoration

La Société Géologique de France de 1880 à 1929, par Emm. de Margerie. Un volume de 28 × 23 cm. de 80 pages, 1930, 19 planches hors texte.

Cet ouvrage est extrait du Livre jubilaire publié à l'occasion du centenaire de la Société Géologique de France. C'est en somme un résumé très succinct des Bulletins et Mémoires publiés par cette Société de 1880 à 1929, qui rendaient compte des travaux intéressants effectués par ses membres, soit dans diverses régions de la France soit dans nos colonies, soit dans divers pays étrangers. L'ouvrage se divise en deux parties : la première de caractère technique où sont exposés les progrès accomplis dans l'étude de la géologie, la seconde à caractère administratif contenant des renseignements divers sur l'organisation de la Société, sa vie intérieure, ses publications périodiques. Les planches hors-texte sont constituées par les photographies des membres principaux de cette Société.

IL Y A TRENTE ANS

Réunion ordinaire mensuelle du 9 Janvier 1901

Présidence de M. E. Mascart

Des 26 Membres élus dans cette séance, nous comptons encore parmi nous, MM. Bergeon (Paul), Dusaugey (Ernest), Grandmasson (Émile), Gratacap (Adolphe), Iliovici (Avram-David), Vulcanesco (Grégoire Michel).

M. Jovignot fait une communication sur *la plate-forme électrique de l'Exposition universelle de 1900*.

Le Conférencier commence par rappeler les différents projets de planchers roulants étudiés en France et à l'Étranger, depuis 18[illegible], par MM. Dalifol, Bliven, Blot, Hénard, Retting, Schmidt et S[illegible]. Puis, il donne une description très complète des « trottoirs roulants » de l'Exposition de 1900.

La plate-forme de 3 370 mètres de longueur était établie en viaduc, supporté par 268 palées ; elle était constituée par un trottoir fixe et deux trottoirs roulant à des vitesses respectives de 4 km et 8 km, et pouvait transporter par heure 30 000 voyageurs faisant un tour complet à la vitesse de 8 km. Les deux trottoirs roulants étaient formés chacun par 842 châssis de trucks, alternativement à roues et sans roues et fixés sur une poutre axiale, par l'intermédiaire de laquelle ils reposaient sur 568 galets à suspension élastique dont 172 étaient moteurs. Cette poutre axiale était constituée par des tronçons de 4 mètres de longueur articulés comme les maillons d'une chaîne, l'articulation étant formée par une broche verticale.

M. Jovignot étudie les solutions qui furent proposées pour la distribution de l'énergie et le démarrage des plates-formes par MM. Maurice Leblanc, Bernheim, Boucherot et la Société Westinghouse et décrit le transformateur de phase imaginé par M. Boucherot. En fait, la plate-forme fut desservie par 172 moteurs à courant continu, type série, d'une puissance de 5 chevaux sous 500 volts.

Il termine en énumérant les brillants résultats d'exploitation obtenus par la plate-forme qui en sept mois a parcouru 19 000 km et a transporté sept millions de voyageurs.

BAR-LE-DUC. — IMP. COMTE-JACQUET

Le gérant : Alfred Magnier.

REMISE

de la

MÉDAILLE MASCART

à

M. Paul JANET

Membre de l'Institut

Attribution de la Médaille Mascart en 1924

Dans sa réunion du 27 Février 1924, tenue sous la Présidence de M. Eschwège, le Comité d'Administration de la *Société française des Electriciens* décide d'attribuer la Médaille Mascart à

M. André BLONDEL

Membre de l'Institut

Président d'Honneur de la Société Française des Électriciens.

Attribution de la Médaille Mascart en 1927

Dans sa réunion du 24 Novembre 1926, tenue sous la Présidence de M. Legouez, le Comité d'Administration de la *Société française des Electriciens* décide d'inviter à présenter un candidat les diverses Sociétés Electrotechniques étrangères et, à défaut, les Comités nationaux faisant partie de la Commission Electrotechnique internationale et prenant part aux discussions de la Conférence internationale des Grands Réseaux.

Cette invitation est adressée aux Associations des pays suivants : Belgique, Etats-Unis d'Amérique, Grande-Bretagne, Italie, Japon, Pays-Bas, Pologne, Roumanie, Russie, Suède, Suisse, Tchécoslovaquie.

Dans sa réunion de Février 1927, tenue sous la Présidence de M. Charles Fabry, le Comité d'Administration de la *Société française des Electriciens* ayant pris connaissance des propositions de candidatures faites par les Sociétés Etrangères, décide d'attribuer la Médaille Mascart à

Sir J.-J. THOMSON

Professeur à l'Université de Cambridge

Attribution de la Médaille Mascart en 1930

Dans sa réunion du 27 Novembre 1929, tenue sous la Présidence de M. P. Bunet, le Comité d'Administration de la *Société Française des Electriciens* décide d'attribuer la Médaille Mascart à

M. Paul JANET

Membre de l'Institut,
Directeur du Laboratoire central et de l'École supérieure d'Électricité

Le 30 Avril 1930, les Membres de la *Société Française des Électriciens*, les élèves et anciens élèves de l'*École supérieure d'Électricité* se sont réunis dans l'Amphithéâtre de l'*École supérieure d'Électricité*, pour la remise de la Médaille Mascart à M. Paul JANET.

M. PARODI, Président de la Société Française des Électriciens, a pris la parole en ces termes :

Cher Monsieur Janet,

En vous remettant aujourd'hui, au nom de la Société Française des Electriciens, la médaille Mascart, je remplis un bien agréable office, car c'est avec une sincère admiration et une respectueuse sympathie que je salue en vous, non seulement le savant éprouvé et le maître averti, mais encore l'organisateur, et je dirai presque le créateur des deux œuvres maîtresses de notre Société : le Laboratoire central et l'Ecole Supérieure d'Electricité.

Après l'Exposition de 1881, de bons esprits s'étaient rendu compte

de la nécessité de doter notre pays d'un laboratoire national où pourraient se poursuivre les recherches méthodiques ayant pour objet principal de mesurer, avec précision, les constantes électriques dont les savants et les industriels avaient besoin. Il était urgent, en effet, riaux utilisés dans la construction des appareils électriques de toutes natures.

de définir exactement les divers étalons représentant les Unités électriques fondamentales et de déterminer les caractéristiques des maté-

Un décret du 8 février 1882, a prévu la création d'un organisme officiel de ce genre, mais ce n'est guère qu'en 1888 qu'il put être réalisé sous une forme un peu différente, grâce à l'action énergique et clairvoyante d'Eleuthère MASCART, avec le concours actif de notre Société. Quelques années plus tard, en 1893, les fondateurs de la Société des Electriciens décidaient de compléter l'œuvre déjà commencée, en créant une école d'application de l'électricité, destinée à répandre les théories et les méthodes nouvelles, sous forme d'un enseignement technique supérieur.

Vous étiez tout désigné, dès cette époque, pour prendre la direction des deux établissements ainsi créés par notre Société, non seulement par vos connaissances et votre situation à la Faculté des Sciences de Paris, mais encore et surtout par l'action que vous aviez déjà personnellement exercée dans le Dauphiné. L'enseignement que vous avez su y créer, en marge de l'Université, par votre savoir, votre esprit d'initiative et votre volonté, est devenu l'Institut électrotechnique de Grenoble. Le choix que MASCART avait fait de vous, à l'époque, était tellement justifié, que le mandat de cinq ans de Directeur de l'Ecole et du Laboratoire qui vous avait été confié, a déjà été renouvelé sept fois et que le vœu le plus cher, que nous formulons tous ici, est que vous continuiez à animer, d'encore nombreuses promotions d'élèves, de votre souffle et de votre foi dans l'avenir de la technique électrique française.

Lorsque notre maître à tous, Henri POINCARÉ, disait que la science doit être cultivée pour elle-même et que l'utile vient par surcroît, il était implicitement d'accord avec vous, qui avez été des premiers à comprendre qu'une industrie comme celle de l'électricité était essentiellement scientifique et que, pour elle, les études les plus utilitaires en apparence se confondaient et se fondaient, presque constamment, en études utilisables scientifiquement. Ce qui fait la grandeur et la beauté de ces laboratoires nationaux rêvés par PELLAT, par MASCART et tant d'autres, et dont l'étranger nous offre d'admi-

rables exemples, c'est ce que vous avez su faire en France dans un laboratoire privé à peine subventionné par l'Etat. et n'ayant d'officiel que son décret de fondation. Ici, comme là-bas, même travail consciencieux et désintéressé conduit en toute indépendance et en toute sincérité. Cette indépendance et cette sincérité, vous avez su les garder jalousement, avec votre volonté bienveillante et tenace, malgré les difficultés de plus en plus grandes de l'heure. Cette forme particulière de votre action personnelle a été universellement reconnue quand vous avez été appelé à représenter la France dans nombre de manifestations internationales, au même titre que les délégations étrangères.

Grâce à vous, cet ensemble Ecole-Laboratoire a acquis un prestige que ne possède aucun établissement similaire du Monde et nous espérons que grâce à vous, sous votre impulsion créatrice, cet Institut d'Electricité, dont vous avez été l'âme, pourra jouer définitivement, dans l'Industrie électrique, le rôle de grand Institut national que vous avez toujours rêvé pour lui.

Permettez-moi, en terminant, de vous exprimer à nouveau, au nom de la Société Française des Electriciens et de nombreuses Sociétés étrangères d'électriciens : anglaise, belge, hollandaise, italienne, polonaise, suédoise et d'autres que j'oublie, nos sentiments de profonde reconnaissance et de sympathique admiration.

M. le Président remet la médaille Mascart à M. Paul Janet.

M. P. Janet le remercie en ces termes :

Mon Cher Président,
Mes Chers Collègues,
Mes Chers Amis,

La Société française des Electriciens m'a véritablement comblé cette année : il y a quelques mois, elle m'attribuait, avec une unanimité qui m'a profondément touché, le plus haut titre dont elle dispose, celui de Président d'honneur, et aujourd'hui c'est un hommage d'un caractère différent, mais non moins précieux, que vous voulez bien m'accorder en me remettant cette médaille, dont le nom seul évoque la mémoire d'un homme éminent, particulièrement cher au

Directeur du Laboratoire Central et de l'Ecole Supérieure d'Electricité. Cette distinction, marque concrète de services rendus à la Science de l'Electricité et à ses applications, combien d'autres l'auraient mieux méritée que moi ! combien de noms se sont présentés à mon esprit, lorsque l'ordre du jour de notre Bureau et de notre Comité a appelé la première discussion sur le titulaire à choisir ! avec quelle joie j'aurais, dans une circonstance comme celle qui nous réunit aujourd'hui, apporté mes félicitations à l'un de nos compatriotes — puisque cette année il avait été convenu que la médaille serait attribuée à un Français — choisi parmi ceux, et ils ne manquent pas, dont les travaux ont tant fait pour les progrès de l'Electrotechnique. Plusieurs d'entre vous ont été témoins de mes scrupules et c'est devant leur insistance très affectueuse que j'ai, avec une profonde reconnaissance, accepté l'hommage qui m'était offert. Plus qu'à mes mérites personnels, je veux l'attribuer à l'absolu dévouement que, depuis plus de trente-cinq ans, je n'ai cessé d'apporter aux fondations de la Société Française des Electriciens ; voir clairement une œuvre utile à accomplir, lui consacrer, sans se laisser tenter par des voies latérales, toutes ses pensées et tous ses efforts, n'est-ce pas là la plus belle des tâches, celle qui chaque jour trouve en elle-même sa récompense ? Vous avez voulu la consacrer par un signe manifeste et par un hommage public ; permettez-moi de vous en exprimer une gratitude qui ne sera pas limitée à la réunion d'aujourd'hui.

Aussi bien, l'occasion qui m'est offerte de vous remercier est aussi celle d'évoquer, dans une vision rapide, les circonstances et les hommes qui ont exercé sur moi leur influence et auxquels j'ai dû, autant qu'à moi-même, la possibilité si rare de pouvoir concilier la vocation personnelle et le labeur imposé par la vie. Une telle synthèse est le charme des hommes de mon âge ; j'ai toujours été tenté de comparer la vie à la toile d'un peintre : chaque jour y ajoute sa touche ; l'une après l'autre, l'une à côté de l'autre, elles semblent avoir peu de rapports entre elles, et l'on se demande comment elles peuvent coopérer à un ensemble ; mais que l'on s'éloigne, et l'ensemble se distingue. La première de ces touches, si je m'en tiens à l'influence que l'Electricité a exercée sur ma vie, m'apparaît dès mon enfance, à la devanture d'un opticien sous les aspects brillants et soigneusement vernissés de cylindres de cuivre portés par des pieds de verre ; c'était une petite machine de Ramsden, et je la possède encore; puis, à une autre devanture, je vis une pile au bichromate,

et quelqu'un me dit que cette machine-là pouvait donner de l'électricité sans tourner de manivelle ; ainsi naquit pour la première fois dans mon esprit la distinction entre l'électricité statique et l'électricité dynamique.

Mais laissons-là ces enfantillages, chers à celui qui les a vécus, bien insignifiants pour ceux qui m'écoutent. Deux noms émergent ensuite de mes souvenirs, Jules VERNE et d'ALMEIDA. Le premier ne m'était connu que par ses merveilleuses histoires qui, certes, eurent une grande influence sur beaucoup d'adolescents entre 1870 et 1880. L'action à côté de la science, la science, admirable auxiliaire de l'homme, mais à condition de s'appuyer sur de hautes qualités morales, voilà, suivant l'expression d'un philosophe bien connu, les idées forces qui inconsciemment imprégnaient l'esprit des jeunes lecteurs du célèbre romancier. L'un de ses héros m'apparut réellement en chair et en os sous les traits du physicien d'ALMEIDA. Celui-là, je le connaissais bien et le voyais fréquemment ; c'était le plus intime et le plus vieil ami de mon père, ils s'étaient connus tout enfants, dès la classe de huitième du Lycée Saint-Louis : d'ALMEIDA, d'abord Professeur de physique au Lycée Henri IV, puis Inspecteur général de l'Instruction Publique, était un esprit original et aventureux ; seul au monde, il économisait patiemment sur son modeste traitement universitaire, pour pouvoir, tous les deux ou trois ans s'évader dans les pays les plus lointains. Je crois qu'il connaissait la terre entière, et la terre était plus grande alors qu'aujourd'hui ; il avait visité les Etats-Unis en 1864 pendant la guerre de sécession, allant des Etats du Nord aux Etats du Sud en traversant les lignes en pleine bataille ; et en 1870, sorti de Paris en ballon, il avait fait cette admirable et audacieuse tentative, que j'ai rappelée ailleurs, d'utiliser le cours de la Seine pour transmettre, sans fil, des signaux électriques entre Poissy et la capitale assiégée. C'est certainement à son contact que se développa mon premier goût de la Physique, et pourtant il ne m'y encourageait guère, car son esprit sarcastique, qui rappelait quelque peu celui de POTIER, ne m'épargnait pas les plaisanteries sur ma prétendue vocation. Je lui dois pourtant beaucoup, car, ayant pour principe qu'un Physicien doit avant tout savoir se servir de ses mains, il me fit cadeau d'un établi, d'un jeu d'outils et de leçons par un bon mécanicien de chez Ducretet. J'en ai conservé le goût et le respect du travail manuel.

L'Exposition d'Electricité de 1881 est une nouvelle étape dans ma vie : l'Electricité était en pleine éclosion, et l'on peut dire que la

jeunesse des choses attire la jeunesse des hommes ; l'éclairage, le transport de l'énergie, la traction électrique, le téléphone, tout cela était bien fait pour exciter l'enthousiasme du jeune lycéen que j'étais alors. Vers cette époque, je visitai le Laboratoire de JAMIN, à la Sorbonne, et je me souviens encore de lui avoir demandé pourquoi, en reliant le pôle positif d'une pile au pôle négatif d'un autre élément, les deux électricités ne se neutralisaient pas. Puis vinrent les années d'études plus sérieuses et l'Ecole Normale où l'attrait des hautes mathématiques ne me détourna pas de la Physique ; j'y eus pour maître VIOLLE à qui, jusqu'à la fin de sa vie, je suis resté lié par le plus affectueux respect, en même temps qu'à la Sorbonne nous assistions aux dernières leçons de DESAINS et de JAMIN, qui furent bientôt remplacés par BOUTY et LIPPMANN. Mais, malgré cette abondance d'enseignements, un homme, que je ne connaissais alors que par ses livres, eut, sur la formation scientifique de mon esprit, une influence prépondérante, qui plus tard devait s'étendre bien au delà ; cet homme était MASCART. Le Collège de France, où il professait, sortait quelque peu du rayon universitaire, et je n'eus à cette époque que fort peu de rapports avec lui, mais j'avais la plus vive admiration pour ses travaux et je n'ignorais pas le rôle qu'il avait joué lors de l'Exposition et du Congrès de 1881. MASCART eut deux grands mérites : d'abord de faire connaître en France, non par une vulgarisation superficielle, mais par une étude très approfondie et très personnelle, les grandes théories de l'Ecole anglaise contemporaine, celles de MAXWELL et de Lord KELVIN, puis de mettre au service de l'industrie électrique la rigueur et la précision des connaissances scientifiques. C'est imprégné de ces idées que je débutai, à l'Université de Grenoble, dans ma carrière de professeur, et c'est à MASCART que je demandai de présenter mes premières notes à l'Académie des Sciences. Ce fut mon premier contact avec lui ; il était sobre de paroles et d'un abord plutôt froid ; un de ses mots eut pourtant une influence certaine sur la direction de mes études : comme je me montrais surpris de la différence qui existait dans la manière de concevoir les phénomènes électriques entre les professeurs et les ingénieurs, il me dit simplement ceci : « Il ne faut pas dédaigner les méthodes des ingénieurs, elles ont souvent du bon ». Cette parole, l'ambiance de Grenoble, entourée de chutes d'eau et de villages où l'éclairage électrique commençait à se répandre, les premiers transports d'énergie, et en particulier celui de Domène réalisé dès 1887 par notre ancien Président HILLAIRET qui devait être pour moi, par la

suite, un ami très fidèle, le souvenir aussi, très présent dans la ville, des expériences de Marcel DEPREZ, entre Vizille et Grenoble, réalisées quelques années auparavant, tout cela m'amenait insensiblement à me tourner du côté de l'électricité industrielle ; tant il est vrai, que bien souvent, les tendances individuelles concordent inconsciemment avec les mouvements généraux qui marquent les progrès de l'humanité. Comment, en 1892 j'inaugurai à la Faculté des Sciences de Grenoble un enseignement d'Electrotechnique, je l'ai raconté ailleurs (1). Il faut croire qu'un tel enseignement, alors très nouveau dans les Universités provinciales, répondait à un véritable besoin, car on sait comment il se développa. Dès 1894, j'étais appelé à Paris et un matin de 1895, je recevais un mot de MASCART, écrit au crayon sur une de ses cartes, et me priant de passer chez lui ; à ma profonde surprise, il m'offrait, d'accord avec POTIER qui venait de prendre la Présidence de la Société, la Direction du Laboratoire Central d'Electricité et de l'embryon d'Ecole qui venait d'y être annexé, sous le nom d'Ecole d'Application de l'Electricité ; il ne me cacha pas que j'aurais beaucoup à y faire, que les difficultés ne manqueraient pas et que je devrais donner à cette tâche nouvelle tout le temps que me laisserait mon enseignement universitaire ; que, d'ailleurs, je serais sous sa coupe, et que ses conseils et son appui m'étaient assurés. J'acceptai séance tenante et c'est ainsi que brusquement je passai des calmes et laborieux loisirs d'un laboratoire scientifique à la lourde responsabilité d'une œuvre où tout était à faire avec des moyens toujours insuffisants. A partir de ce moment, mes relations avec MASCART furent presque journalières ; j'allais fréquemment le voir dans son cabinet du Bureau central météorologique, où je pénétrais directement, grâce au secret d'une serrure qu'il m'avait confié : là il m'enseignait ce que ne soupçonnent guère les jeunes, l'expérience de la vie et la connaissance des hommes ; nos entrevues n'avaient rien d'expansif, mais une fois surmontée la première rétraction due à un accueil froid et réservé, on ne pouvait s'empêcher d'être conquis par la sûreté de relations, par la netteté des vues et par l'absolu dévouement au bien public de cet homme qui n'avait jamais voulu se renfermer dans ces temples élevés et sereins de la Science pure dont parle le poète. Ce n'est pas à dire qu'il n'y eut jamais quelques orages

(1) Voir plus loin.

dans nos rapports ; mais comment s'en souvenir en relisant le petit mot suivant que je retrouvais ces jours-ci avec émotion dans mes papiers et qu'il m'écrivait quelques mois avant sa mort : « Mon cher Janet, j'avoue que j'étais un peu nerveux l'autre jour, mais il ne faut pas prendre les choses au tragique, nous en recauserons ». Il est d'ailleurs assez curieux de constater qu'entre le grand savant et le jeune physicien, il ne fut que bien rarement question de Science ni de technique : on eut dit que l'organisation du Laboratoire et de l'Ecole primait tout, et que le reste viendrait par surcroît. Mais ce qui me manquait d'un côté, je le retrouvais d'un autre.

Mes relations avec Potier avaient, en effet, un caractère tout différent : j'allais le voir chez lui, immobilisé par la paralysie commençante, dans ce grand fauteuil où son portrait bien connu le représente ; la vie semblait s'être concentrée dans son regard où brillait l'intelligence la plus vive et la plus incisive ; il fallait souvent le comprendre à demi-mot, mais que de vues profondes, on découvrait alors sur ces développements de l'électricité, qu'il suivait par l'imagination, mieux qu'il n'eut pu le faire au milieu des machines ou des ateliers. Avec Maurice Leblanc — pour ne citer que les disparus — ce fut lui qui m'ouvrit le plus d'idées sur la science que j'allais avoir à enseigner.

Puis les années passèrent, le Laboratoire et l'Ecole, grâce aux admirables dévouements qui se groupèrent autour de la Société française des Electriciens, prirent les développements auxquels nous assistons aujourd'hui ; la tâche est loin d'être terminée, et est-il même à souhaiter qu'elle le soit jamais ? Suivant un instinct profond du cœur humain, nous aimons surtout dans nos œuvres ce que nous y avons mis de nous-même ; le jour où le Laboratoire et l'Ecole prendraient un caractère plus impersonnel, ils risqueraient de voir se tarir les sources les plus fécondes de leur croissance. Je sais bien que de graves questions se posent à ce sujet, et je ne voudrais pas, dans cette fête tout intime, les aborder à la légère, mais je ne puis m'empêcher de me demander si, suivant le beau vers du poète latin, il faudrait perdre, pour s'assurer la vie, la raison même de vivre (1). En tout cas, la cérémonie d'aujourd'hui, placée sous l'égide du fondateur du Laboratoire et de l'Ecole, doit nous amener à méditer sur les idées qui furent les siennes ; puissé-je consacrer à ces idées,

---

(1) *Et propter vitam, vitai perdere causas.*

dont je me considère comme le dépositaire, les dernières années d'une carrière qui, si j'en crois le précieux hommage que vous m'apportez, ne fut pas complètement stérile. Vous avez bien voulu, mon cher Président, l'apprécier en des termes qui m'ont profondément touché. Permettez moi de vous remercier du fond du cœur et de remercier, en votre personne, tous les amis, présents et absents, qui, depuis de longues années, me soutiennent d'une sympathie agissante, et me le témoignent aujourd'hui par une récompense dont j'apprécie profondément la haute valeur et l'extrême délicatesse.

Quelques souvenirs personnels sur les débuts de l'Enseignement de l'Électricité Industrielle à l'Université de Grenoble (1)

Lorsque, en octobre 1886, je débarquai, frais émoulu de l'Ecole Normale Supérieure, comme Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Grenoble, en remplacement du professeur Hurion appelé à Dijon, j'avais, comme la plupart de mes camarades, une idée bien arrêtée, c'était que la Science n'était véritablement digne d'intérêt et ne méritait ce grand nom que si elle était franchement inutile ; la possibilité d'une application ne pouvait que ternir la beauté des lois naturelles, et j'aurais crû déchoir en m'écartant, ne fut-ce que par occasion, de la pure Physique que mes Maîtres m'avaient appris à admirer et qui si souvent avait fait l'objet de nos interminables conversations et de nos discussions passionnées dans les longs couloirs de l'Ecole. Ne sourions pas de cet état d'esprit ; c'est là un idéal très élevé que, surtout en ce temps de besoins matériels intenses, il faut soigneusement conserver chez quelques esprits d'élite, comme le flambeau qui éclairera la route vers l'avenir. Mais infiniment rare est la conjonction de circonstances qui permet à de tels esprits de se réaliser ; que l'on se figure les luttes de conscience qui se pressent dans l'âme du jeune homme épris des recherches scientifiques, mais qui se demande avec anxiété si tous les efforts qu'il y consacre ne resteront pas stériles, et si les longues années qu'il passera pour n'obtenir que quelques résultats peut-être médiocres

---

(1) Extrait de la Revue *Electricité et Mécanique.*

et destinés à être balayés par l'oubli, n'auraient pas été mieux employées à se mêler de plus près à la vie active du pays, à se rendre plus directement utile, et à faire profiter de sa science ses voisins immédiats, plutôt que de la réserver jalousement et avec quelque nuance de dilettantisme, pour le bien problématique des générations futures.

Il va sans dire que j'étais bien loin de toutes ces belles réflexions en prenant, à vingt-trois ans, la charge de l'Enseignement de la Physique à la Faculté des Sciences de Grenoble : les candidats à ces chaires (les temps ont bien changé !) étaient rares à cette époque. Quoique simple agrégé, et non encore docteur, j'avais eu à choisir entre Montpellier et Grenoble. Mon maître Violle, que nous avons eu le chagrin de perdre il y a quelques années et pour qui j'ai toujours eu la plus respectueuse affection, m'avait, par quelques lignes de son écriture en pattes de mouches, que je conserve précieusement, donné sans hésiter le conseil de choisir Grenoble : à Montpellier, la chaire de Physique était occupée par Crova, auprès de qui j'aurais trouvé peut-être le bénéfice de quelques conseils éclairés, mais aussi l'inconvénient de rester encore sous la coupe d'un maître, et ne pas pouvoir, de longues années, voler de mes propres ailes. Violle connaissait bien Grenoble ; il y avait été professeur pendant plusieurs années, de 1872 à 1879 ; c'est là qu'il avait commencé ses belles recherches sur le rayonnement du platine. En m'engageant à aborder, comme simple chargé de cours, la chaire qu'il avait occupée comme professeur, il me faisait valoir l'avantage qu'il y avait pour moi à prendre dès le début la responsabilité d'un Enseignement que je serais seul à assurer et d'un Laboratoire où je trouverais, avec une installation matérielle très satisfaisante, le concours d'un préparateur et d'un garçon. C'était tout l'avenir qui s'ouvrait devant moi ; c'est avec enthousiasme que je suivis le conseil de mon vieux maître ; il me paraissait tel à cette époque et pourtant il avait à peine quarante-cinq ans !

Je tombai, à la Faculté de Grenoble, dans un milieu scientifique où se mêlaient des hommes de valeurs inégales, mais tous très attachés à leur profession qu'ils exerçaient avec la plus grande dignité. Le plus éminent, le mot n'est pas trop fort, était Raoult, alors Professeur de Chimie, qui a laissé de très belles recherches sur la Physico-Chimie, et, en particulier, sur l'abaissement du point de congélation et sur l'élévation du point d'ébullition des dissolutions. Il était alors en pleine activité scientifique et devait, quelques années après, être élu correspondant de l'Académie des Sciences. Le doyen Lory, Professeur de Géologie, plus âgé que Raoult, savant également fort connu et corres-

pondant de l'Institut depuis une dizaine d'annés, était, quoique Breton d'origine, fixé depuis longtemps dans le Dauphiné, par l'amour du rocher et de la montagne ; petit, râblé, un peu rude d'allure et de paroles, c'était le meilleur homme du monde. Le Professeur de Calcul différentiel et intégral, Collet à qui devaient bientôt m'unir des liens de véritable amitié, partageait sa vie, avec la même ardeur, en deux parts, l'Enseignement et le Tourisme. Il était pour ses élèves d'un dévouement inépuisable, et la recherche scientifique, où pourtant il laissa des traces remarquables, ne passait peut-être qu'au second plan pour lui.

Mes premières années à Grenoble furent entièrement remplies par la double tâche de mettre sur pied l'enseignement de la Physique pour la licence, et de produire une thèse de Doctorat. L'Électricité m'attirait déjà, et j'abordai immédiatement quelques recherches sur l'influence du magnétisme sur les phénomènes chimiques, sujet sur lequel, dès ma troisième année d'École, j'avais publié une courte note au *Journal de Physique*. J'y prévoyais que la force électromotrice d'une pile, dont un des métaux est le fer, devait se modifier dans un champ magnétique. Je passai près d'une année sur ce sujet intéressant, mais peut-être trop difficile pour un débutant ; j'y obtins des résultats fort encourageants, tout à fait conformes à mes prévisions, mais aussi des irrégularités telles que je n'osai rien publier et que, pressé par la nécessité de devenir docteur dans un délai suffisamment court, j'abandonnai, non sans un grand regret, des études qui devaient être beaucoup plus tard reprises par d'autres expérimentateurs.

Libéré du souci de ma thèse, en 1890, par un travail sur l'aimantation transversale des conducteurs magnétiques, j'abordai l'étude de la grande question qui était à l'ordre du jour à cette époque, celle des oscillations électriques. J'étais complètement engagé dans cette voie lorsqu'une circonstance fortuite vint m'ouvrir d'autres horizons.

Vers le commencement de juin 1891, j'appris par hasard que notre Doyen Raoult comptait proposer au Conseil de la Faculté, dont je ne faisais pas encore partie, n'ayant pas les trente ans réglementaires, d'émettre un vœu en faveur de la création d'une chaire de Chimie industrielle. Je me vois encore, sous les ombrages d'Uriage, où j'allais, dans l'intervalle de mes cours, passer mes moments de liberté, causer de cette affaire avec mon collègue et ami, Raoul Jay, alors Professeur à la Faculté de Droit, et que nous avons perdu, il y a quelques années. C'était un esprit extrêmement fin et distingué, ouvert à toutes les idées nouvelles et d'une critique à la fois très sûre et très pénétrante ; sans

y attacher grande importance je lui dis au cours de la conversation qu'à mon avis, un autre enseignement, celui de l'Électricité industrielle aurait de bien plus grandes chances de succès dans cette Faculté de Grenoble (on n'osait pas encore parler d'Université) si bien située au milieu d'une région riche en chutes d'eau et où quelques années auparavant, Marcel Deprez avait réalisé ses célèbres expériences de transport d'énergie entre Grenoble et Vizitle. Raoul Jay, avec sa vivacité habituelle, fut enthousiasmé par cette idée, et cette réaction d'un esprit de premier ordre à une suggestion presque spontanée, m'en montra toute la fécondité et toutes les chances de réussite. Dès mon retour à Grenoble, j'allai trouver mon doyen ; dire qu'il y mit le même enthousiasme serait tout à fait exagéré : son accueil fut plutôt froid et décourageant ; n'aurais-je pas dû prévoir que la valeur même de mon projet venait compromettre pour longtemps la création de cette Chaire de Chimie industrielle à laquelle je vis alors qu'il attachait une très grande importance : « Ouvrir un cours d'Électricité à la Faculté de Grenoble, c'était, me disait-il comme si un professeur d'histoire voulait y ouvrir un cours sur la Journée des tuiles ». Les jeunes gens ne doutent de rien ; loin de me décourager, cette opposition, polie, mais nette, ne fit que me confirmer dans mon idée, et séance tenante je fis ma proposition par écrit. J'obtins, premier succès, la faveur d'assister le 9 juin 1891 à la séance du Conseil où la chose devait être discutée. Voici un extrait du procès-verbal de cette séance, que M. le Doyen Gau a bien voulu me communiquer :

« Le Conseil..... autorise tout d'abord MM. Janet et Kilian, chargés « de cours, à être présents à cette délibération avec voix consul- « tative.....

« Le Conseil demande, avec une insistance toute particulière la créa- « tion d'une Chaire magistrale de Chimie agricole et industrielle dont « le Professeur, par la stabilité de sa position, soit mis à même d'avoir « le désir et la possibilité de connaître les besoins spéciaux de la région « (ciments, papeterie, ganterie, sols et cultures variées.....)

« Subsidiairement enfin, le Conseil émet le vœu que, dans le cas « où il entrerait dans les vues de M. le Ministre de créer des chaires « d'Électricité industrielle, une de ces chaires soit créée à Grenoble dont « la situation est exceptionnellement favorable au développement des « diverses applications de l'Électricité ».

Malgré la réserve voulue de ces termes, on en a vu plus haut l'origine, une première étape était franchie, mais le plus difficile restait à faire. Je ne me faisais aucune illusion sur la valeur d'un vœu destiné,

sans nul doute, à aller dormir dans les cartons poudreux du Ministère ; je réfléchis donc aux voies et moyens propres à arriver à une réalisation, et je m'avisai que j'avais pour cela à ma disposition un cours public du soir, de huit leçons, organisé par la Municipalité de la Ville, et qui, chaque année, servait à exposer devant le grand public les faits fondamentaux et les plus belles expériences de la Physique ; je proposai donc de les transformer en un enseignement d'Électricité industrielle : voici, en date du 4 juillet 1891, un extrait du procès-verbal de l'Assemblée de la Faculté dont je faisais régulièrement partie :

« M. le Doyen donne ensuite lecture d'une lettre de M. le Recteur en « date du 26 juin, demandant l'avis officieux de l'Assemblée sur une « demande de M. Janet qui désire obtenir de la Municipalité que le « cours public du soir de Physique soit transformé en un nombre « égal de conférences publiques d'Électricité industrielle. Après échange « d'observations, M. Janet déclare retirer sa demande, et l'Assemblée, « à l'unanimité, approuve cette résolution ».

Cette fois j'avais dû battre en retraite, et mes collègues — ou plutôt certains d'entre eux — avaient commencé à se hérisser devant une réalisation possible de mes projets. Mais je m'avisai bientôt que nulle formalité n'était nécessaire pour prendre comme sujet de mes cours du soir certaines questions empruntées à l'Électricité industrielle, et à en élever notablement le niveau de manière à le rendre directement utile à une nombreuse catégorie d'auditeurs. Je m'appliquai donc à préparer soigneusement les huit leçons qui m'étaient attribuées pour l'hiver de 1892, et je portai une attention toute particulière sur la partie expérimentale de ces leçons. La première eut lieu le 2 février 1892 ; l'amphithéâtre de la Faculté fut littéralement pris d'assaut ; je retrouve, dans les journaux de cette époque le nom des principales personnalités qui y assistaient et dont bien peu survivent aujourd'hui : parmi elles était Aristide Bergès, de Lancey, le créateur des hautes chutes et l'apôtre de la houille blanche ; le doyen Raoult, s'était abstenu. On peut dire que c'est ce soir du 2 février 1892 que le futur Institut Électrotechnique de Grenoble est né à la vie.

Dès le 12 février, le Ministre d'alors, Léon Bourgeois adressait au Recteur une lettre dont j'extrais le passage suivant : « Cette initiative, disait-il, comme toutes celles qui sont de nature à élargir le champ d'action des Facultés doit être encouragée, et je vous prie d'adresser mes félicitations à M. Janet ».

Les cours se termina le 5 avril par la répétition des brillantes expériences de Tesla, alors toutes nouvelles. Dès le lendemain, paraissait

dans les journaux de Grenoble, un communiqué que j'ai touj
attribué à Bergès lui-même et dont voici un extrait :

« Nous voudrions aller plus loin et profiter de ce mouvement
« spontané pour arriver à *faire rendre définitif et permanent* ce co
« *d'électricité* ».

« Il faut, pour cela, justifier aux yeux des particuliers de la vi
« du Conseil général et de l'État, qu'un tel cours est très bien d'uti
« publique.

« Et la chose n'est pas difficile.

« Est-ce que chaque région ne fait pas des sacrifices pour favori
« l'exploitation de ses richesses du sol ou d'industrie ?.....

« Un Comité d'initiative ouvert à tous vient de se former, destin
« poursuivre la création d'un cours régulier d'électricité »...

Dès lors, la semence était jetée, elle n'avait plus qu'à germer.

Le 12 avril, la Chambre de commerce, sur la demande pressa
d'un grand nombre de notables industriels de sa circonscription, ém
tait à l'unanimité un vœu pour la création d'un cours d'électric
industrielle à la Faculté des Sciences de Grenoble, et se mettait en ra
port avec le Comité d'initiative formé en vue de cette création.

Le 5 août de la même année 1892, le Conseil municipal, « constata
le succès obtenu par le cours d'Électricité industrielle professé
février et mars par M. P. Janet, et prenant acte des premières subve
tions recueillies par la Chambre de commerce », votait à son tour u
subvention pour le maintien du cours nouveau. Le rapport, présen
à cette occasion au Conseil par M. Cornier, (qui depuis est deven
maire de Grenoble), se terminait par ces mots : « Et pourquoi ne ve
« rions-nous pas, dans cette modeste création, le germe de l'Instit
« Électrotechnique de Grenoble, rattaché à l'Université dauph
noise ? » (1).

Enfin, le 26 août 1892, la Faculté des Sciences, en vertu des droit
que lui conférait l'article 16 du décret du 28 décembre 1886, acceptai
les fonds ainsi mis à sa disposition, et décidait de les employer à sub
ventionner un cours et un Laboratoire d'Électricité industrielle.

Les années 1893 et 1894 furent consacrées à l'organisation du nouve
enseignement : les locaux d'un ancien Laboratoire départemental furen
affectés aux travaux pratiques, et, à ma profonde satisfaction, un cer

---

(1) Il ne faut pas oublier qu'à cette époque, la future loi sur les Universités préoc-
cupait vivement les petites Facultés, qui, à tort ou à raison, s'étaient crues menacées
par cette loi.

tain nombre d'élèves régulièrement inscrits — quelques-uns s'en souviennent peut-être encore — profitèrent avec la plus grande ardeur des ressources encore bien modestes qui étaient ainsi mises à leur disposition. A la fin de 1894, j'étais nommé chargé de cours à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris, et, l'année suivante, Directeur du Laboratoire Central et de l'École Supérieure d'Électricité (qui portait alors le nom d'École d'Application de l'Électricité).

Mais de fidèles amitiés, que je laissais à Grenoble, tenaient à cœur de mener à bien l'œuvre commencée : dans la faculté même, Collet, à peu près seul contre tous ses collègues, lutta avec énergie pour faire maintenir le nouvel enseignement; puis la loi sur les Universités fut promulguée : pour la première fois, les ressources des diverses Facultés pouvaient être mises en commun pour la création d'œuvres d'intérêt général. Les plus importantes provenaient de la Faculté de Droit qui eut pu les réclamer à son profit; mais là encore l'idée en marche trouva de précieux appuis. Mes deux excellents amis, Henri Capitant, aujourd'hui professeur à la Faculté de droit de Paris et membre du Conseil supérieur de l'Instruction publique, et Robert Beudant qui fut Doyen de la Faculté de Droit de Strasbourg et est maintenant Conseiller à la Cour de cassation, firent voter, lors de la discussion du premier budget de l'Université de Grenoble, une motion à peu près ainsi conçue : « La « Faculté de Droit, de qui viennent presque toutes les recettes, ne « demande rien; elle est d'avis que la presque totalité soit consacrée à « la fondation d'un Institut électrotechnique, sinon, elle réclame pour « chacune des Facultés, la totalité des ressources provenant de cette « Faculté ». Ce texte, aussi habile que généreux, emporta toutes les hésitations. La Faculté de Lettres, sur la proposition de MM. Morillot, à qui devaient m'attacher plus tard de précieux liens de famille, et de Crozals s'associa à ce vœu, et la Faculté des Sciences ne put faire autrement que d'accepter la libéralité qui lui était ainsi consentie : Collet d'ailleurs avait été l'âme de tout ce mouvement.

L'œuvre était désormais fondée, et grâce à mes éminents successeurs, MM. Pionchon, Barbillion et Gosse, l'Institut électrotechnique de Grenoble devait prendre tout le développement que nous connaissons aujourd'hui.

5e série, tome I, n° 2 Février 1931

BULLETIN
DE LA
SOCIÉTÉ FRANÇAISE
DES
ÉLECTRICIENS

SOMMAIRE

(1) La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses Membres dans les discussions, ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

COMPTES RENDUS DES RÉUNIONS

RÉUNION ORDINAIRE MENSUELLE

du Samedi 6 Décembre 1930

Présidence de M. H. PARODI

La séance est ouverte à 16 h. 30.

Le procès-verbal de la précédente séance est adopté.

Il est donné connaissance des demandes d'admissions suivantes :

Calmette (Georges), Ingénieur I. E. G., à la Compagnie Electro-Mécanique, 7, rue de Liége. Domicile : 37, rue de Paris, à Colombes (Seine). — Présenté par MM. Piot et Demory.

Dehors (Roger), élève à l'E. S. E., 3, boulevard Jourdan, à Paris (14e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Finkel (Jacques), Ingénieur au laboratoire du service des compteurs de la São Paulo Tramway Light et Power Co, 69, rua Marquez de Itu São Paulo (Brésil). — Présenté par MM. Coelho da Silva et Guilhem.

Joudoux (Pierre), Ingénieur des travaux publics de l'Etat au service des contrôles des distributions d'énergie électrique, dans le département de la Corrèze, 2, rue de la-Bastille, Tulle (Corrèze). — Présenté par MM. Ledoux et Dauzère.

Lambrey (Maurice), agrégé des sciences physiques, 32, avenue Gambetta, Montrouge (Seine). — Présenté par MM. Janet et Abraham.

Lemozy (Louis), directeur de l'Electricité d'Alep, à Alep (Syrie). — Présenté par MM. Martinel et de Valbreuze.

Société Energie Electrique du Maroc, 280, boulevard Saint-Germain, Paris (7e). — Présenté par MM. Parodi et Radiguer.

Varaldi-Balaman (Pierre), élève à l'E. S. E., 120, boulevard Raspail, Paris (6e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Walewski (Antoine), Ingénieur à la Compagnie des forges et aciéries de la marine et d'Homécourt, 12, rue de la Rochefoucauld, Paris (9e). Domicile : 71, avenue Victor-Hugo, à Paris (16e). — Présenté par MM. Janet et Walewski R.

Sans opposition de la part des Membres présents, ces candidats sont élus Membres titulaires de la Société.

M. le Président fait part, comme suit, du décès de M. GALL :

Nous avons le regret d'annoncer le décès de M. H. GALL, ancien Vice-Président de notre Société, ancien Président de la Société des Ingénieurs Civils de France, Président de la Société d'Electrochimie, d'Electrométallurgie et des Aciéries d'Ugine, Président de la Société des Produits azotés.

M. Gall a créé l'industrie du chlorate de potasse par l'électrolyse ; il a apporté une importante contribution à la fabrication de l'acide carbonique liquide, et a pris une grande part au développement des industries des électrodes, du carbure de calcium et de l'aluminium.

L'Académie des Sciences lui a décerné un prix pour ses travaux.

Nous adressons à Mme Gall et à ses deux fils, MM. François et Jean Gall, nos sincères condoléances.

M. le Président annonce que l'Académie des Sciences a décerné récemment les prix :

Le grand prix Lacaze, à M. Abraham, ancien Président.

Le prix Lafite, à M. Jouaust, pour l'ensemble de ses travaux en radioélectricité.

Le prix Le Chatelier, à M. Ballay, pour ses travaux sur le nickel.

M. le Président ajoute :

La 7e semaine de discussions a eu un plein succès ; de nombreux Membres habitant la province ont tenu à y participer, et la salle du Comité de la Société des Ingénieurs Civils de France, où avaient lieu les réunions, s'est trouvée trop petite pour les recevoir.

Tous les sujets présentés ont donné lieu à des discussions animées et fécondes ; notamment les suivants :

— unités magnétiques ;

— détermination des données caractéristiques des transformateurs ;

— pertes supplémentaires dans les moteurs asynchrones de petite puissance ;

— équilibrage hydraulique des stations centrales thermiques ;

— enduits et revêtements employés en architecture, étudiés dans leurs rapports avec la technique de l'éclairage ;

— progrès récents de l'emploi du four électrique en aciérie ;

— l'état actuel du problème de l'interconnexion des réseaux ;

— protection des installations à basse tension contre la foudre ;

— tendances actuelles dans la construction et l'utilisation des interrupteurs à haute tension ;

— réseaux téléphoniques ruraux ;

— développement des câbles à grande distance en France ;

— tendances actuelles dans l'étude des radio-récepteurs commerciaux.

Enfin la séance du 27 novembre, tenue en commun avec la Société des Ingénieurs Civils de France et consacrée à la traction électrique,

a été rendue particulièrement brillante par la participation de trois conférenciers éminents :

MM. Otto MICHEL, Conseiller supérieur des Chemins de fer du Reich.

BACHELLERY, Ingénieur en chef de la Compagnie des Chemins de fer du Midi.

VAN LESSEN, Chef de la Traction électrique des Chemins de fer néerlandais.

Les visites du matin ont groupé un très grand nombre de nos collègues, et le 29 novembre, à la maison des X, un dîner a réuni 100 convives dont 23 dames.

M. RAGONOT a bien voulu nous faire ensuite un récit, accompagné de projections très intéressantes, du voyage qu'il a fait à Belgrade pour assister à la cérémonie d'inauguration du monument du 11 novembre.

Il a dit combien avait été émouvante la réception qu'il a trouvée auprès de nos amis yougoslaves.

M. GIVELET, avec le concours du service de la radiodiffusion des P. T. T., a bien voulu nous faire entendre son orgue électrique qui était actionné dans la salle Aéolian.

Nous le remercions très vivement, ainsi que M. le chef du Service des P. T. T., et tous ceux qui nous ont permis de visiter leurs usines ou leurs établissements au cours de la semaine de novembre.

M. le Président signale qu'un don, important, de matières lubrifiantes, a été fait à l'Ecole par la Société anonyme des Pétroles Jupiter.

Conformément à l'article 14, du règlement intérieur d'administration, M. le Président fait connaître les noms des Membres de la Société, que le Comité proposera à l'Assemblée générale du samedi 10 janvier, pour son renouvellement partiel. Ces noms sont les suivants :

Président pour 1932 : M. ULRICH ;

Vice-Présidents pour les exercices 1931-1932-1933 : MM. JUMAU et MILON ;

Secrétaires pour les exercices 1931-1932-1933 : MM. BELLINI et ROUQUAYROL ;

Membres pour les exercices 1931-1932-1933 : MM. BLONDIN, CAHEN L., CLAUDE, COLLET, DELASALLE, GRATZMULLER, GUTTON, HOLWECK, ILIOVICI, MARIE Ch., MASCART, OURSON, PIATON, POMEY, REYNAUD-BONIN, ROTH E., WAGUET Ph.

Commission des Comptes : MM. Girousse, du Bousquet et Bacqueyrisse.

L'ordre du jour appelle la communication de M. Bianchi sur « l'Etat actuel de l'Electrification des chemins de fer en Italie » (1).

Après cette communication, M. le Président ajoute : Je veux remercier ici, M. Bianchi de l'empressement avec lequel il a répondu à notre invitation et je suis heureux de lui dire que le très intéressant exposé qu'il a bien voulu nous faire est bien digne et de la nation italienne et du savant Ingénieur qu'est notre collègue et ami M. Bianchi.

M. Bianchi a fait ressortir d'une façon particulièrement saisissante l'évolution des idées qui s'est produite en Italie dans ces trente dernières années depuis l'équipement en triphasé des premières lignes de Valteline jusqu'à l'équipement en courant continu 3 000 V de l'Italie méridionale et je suis heureux de pouvoir souligner que dans les pays de race latine les mêmes idées de bon sens et de clarté ont fini par s'imposer pour des raisons analogues.

Je désire vous signaler en terminant que M. Bianchi a joué dans les électrifications italiennes un rôle de premier plan particulièrement comme constructeur de machines et les succès dont nous nous réjouissons et que nous applaudissons ici sont dus en très grande partie à son travail personnel.

J'adresse à nouveau, en votre nom et au mien tous nos remerciements et félicitations à M. Bianchi et par son intermédiaire aux chemins de fer italiens de l'Etat.

M. Bianchi répond ensuite à diverses questions posées par MM. Parodi, Gratzmuller et Leboucher ; les réponses qui sont d'un très grand intérêt pratique seront incorporées dans le texte imprimé de M. Bianchi.

La séance est levée à 18 h. 15.

(1) Cette communication paraîtra ultérieurement.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE

du Samedi 10 Janvier 1931

Présidence de M. H. Parodi

L'assemblée est ouverte à 16 h. 30.

M. le Président invite les Membres qui n'auraient pas envoyé leur vote pour le renouvellement partiel du Bureau, du Comité et de la Commission des Comptes, à déposer leur bulletin dans l'urne.

MM. les scrutateurs dépouillent le scrutin dont M. le Président proclame le résultat qui est donné ci-après :

Elections pour le renouvellement partiel du Bureau et du Comité

Suffrages exprimés	604
Bulletin nul	0
Nombre de votants	604
Majorité	303

Sont élus :

Président pour l'exercice 1932.

Voix

M. Ulrich (J.) Administrateur - Délégué de la Compagnie du chemin de fer métropolitain de Paris. 597

Vice-Présidents.

3e Section.

(Electrochimie, Electrométallurgie, Piles Accumulateurs).

M. Jumau (L.), Directeur technique de l'accumulateur Tudor 602

5e Section.

(Télégraphie, Téléphonie, Transmission par ondes).

M. Milon (H.), Directeur de l'Exploitation téléphonique au Ministère des P.T.T. 601

Secrétaires.

5e Section.

(Télégraphie, Téléphonie, Transmission par ondes).

M. Bellini (H.), Ingénieur-conseil en T.S.F., Docteur ès-sciences 603

6e Section.

(Recherches physiques. Electrophysiologie. Instruments de mesure).

M. Rouquayrol (V.A.), Assistant au Laboratoire d'essais du Conservatoire national des Arts et Métiers 603

Membres pour trois ans.

MM. Blondin (J.), Directeur de la Revue générale de l'Electricité 599

Cahen (L.), Directeur de la Société d'études pour liaisons téléphoniques et télégraphiques à longue distance. 599

Collet (F.), Ingénieur des Télégraphes. 599

Delasalle (A.), Directeur de l'Agence du Sud-Ouest de la Société générale de Constructions électriques et mécaniques « Alsthom », Président du groupe Sud-Ouest. 600

Gratzmuller (L.), Ingénieur-conseil 599

Gutton (A.), Directeur du Laboratoire national de T.S.F. . . 603

Holweck, Chef de travaux à l'Institut de Radium. 600

Ilioviči (A.D.), Ingénieur Conseil à la Compagnie des Compteurs. 602

Marie (Ch.), Chef de travaux de Chimie-Physique et d'Electrochimie à la Faculté des Sciences 604

Mascart (Ch.), Ancien Ingénieur des Ponts et Chaussées . . 602

Ourson (H.), Professeur de Physique à l'École nationale des Ponts et Chaussées, Secrétaire du Comité d'Electricité. . . . 602

Piaton (R.), Administrateur Délégué de la Société du Gaz et d'Electricité du Sud-Est 602

Pomey (J.), Inspecteur général des Télégraphes 602

Reynaud Bonin (E.), Directeur de l'Exploitation téléphonique de la région de Paris 601

RÉUNION ORDINAIRE MENSUELLE
du Samedi 10 Janvier 1931.

La séance est ouverte à 16 h. 30.

Le Procès-verbal est adopté.

Il est donné connaissance des demandes d'admission suivantes :

MM.

Berger (Jean-Marcel-Joseph), ingénieur aux Etablissements Ragonot 26, avenue du Onze Novembre 1918, à Bellevue (Seine-et-Oise). — Présenté par MM. Janet et Jouvion.

Coste (Antoine Eugène), ingénieur à la Société de Distribution d'Electricité de l'Ouest, chemin des Violettes, avenue de Lodève, à Montpellier (Hérault). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Dalemont (Julien), ingénieur-conseil, domicile : à Paris, 6, rue Marié Davy ; à Lyon : 3, rue de la Méditerranée. — Présenté par MM. Grosselin et Doizar.

Dorra (Albert), ingénieur au Service de Mécanique et d'Electricité du Ministère des Travaux Publics Egyptien, élève à l'E. S. E., 43, rue des Ecoles, à Paris (5e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Fourmarier (Paul), élève à l'E. S. E., 5, boulevard Jourdan, à Paris (14e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Grezel (Pierre-Louis-Charles), secrétaire général de la Société Générale de Force et Lumière, 4, rue Président Carnot, à Lyon (Rhône). — Présenté par MM. René Piaton et Eugène Dumont.

Hanff (Arnold), ingénieur des P. T. T., service de la vérification du matériel, 73, boulevard Brune, Paris (14e). Domicile : 29, rue Gutemberg, à Boulogne-sur-Seine. — Présenté par MM. Grosselin et Petit.

Hermann (Raymond-Lazare), chef du service Emission aux Etablissements Radio L. L., 137, rue de Javel, à Paris (15e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Hugron (A.-P.), ingénieur en chef des P. T. T., directeur des services du boulevard Brune, 124, boulevard Rochechouart, à Paris (18e). — Présenté par MM. Grosselin et Petit (G. E.).

Johner (Guillaume-Martin), ingénieur I. E. G., ingénieur à la Société parisienne pour l'Industrie des chemins de fer et des tramways électriques, 41, rue d'Alsace-Lorraine, à Saint-Mandé (Seine). — Présenté par MM. Doizan et Stampa.

Lamboley (André-Eugène), ingénieur à la Société Lyonnaise d'Eclairage et de Force, 5, rue des Platanes, à Lyon-Monplaisir (Rhône). — Présenté par MM Caillat et Mélère.

Lemaire (Pierre-Marie-Joseph), ingénieur, 16, rue Chevreul, à Lyon (Rhône). — Présenté par MM. Delon et Dumont.

Liebesmann (Benjamin), ingénieur à la Société « Le Matériel Electrique S. W. », 32, rue Cours Albert Ier, à Paris. Domicile : 40, rue Fabert, à Paris (7e). — Présenté par MM. Rossignol et Gélin.

Mathieu (Jean-Georges), ingénieur E. B. P. à la Maison Bréguet, 7, rue Céline, à Antony (Seine). — Présenté par MM. Rosier et Bellot.

Monchamps (Albert), ingénieur chef des Services techniques aux Forges et Ateliers de constructions électriques de Jeumont, 11, avenue d'Aligu, à Aulnay-sous-Bois (Seine-et-Oise). — Présenté par MM. Demany et Esbran.

Nafilyan (Vahé), chef du service technique des Forces motrices de la Vallée d'Aspe, château de Bides, près Oloron (Basses-Pyrénées). — Présenté par MM Bunet et Grosselin.

Ollier (Henry-Jean-Joseph), ingénieur à I. E. G. à la Société Parisienne pour l'industrie des chemins de fer et tramways électriques, 77, boulevard Haussmann, à Paris. Domicile : 25, rue Descombes, à Paris (17e). — Présenté par MM. Doizan et Stampa.

Roux (Edmond-Jean-Eugène), directeur de la Banque Générale pour l'industrie électrique. Directeur général de la Société Générale de Force et Lumière, 4, rue du Président Carnot, à Lyon (Rhône). — Présenté par MM. Dumont et Piaton.

Savoyet (Louis-Alphonse), ingénieur chef d'exploitation à la Société Hydro-électrique des Basses-Pyrénées, à Bayonne, Villa Etche-Marta, à Bayonne (Basses-Pyrénées). — Présenté par MM. Delasalle et Berthet.

Tremouille (André-Jean-François-Vincent), ingénieur à l'Hydro-électrique des Basses-Pyrénées, à Bayonne (chef du service des travaux), Allées Marines, à Bayonne (Basses-Pyrénées). — Présenté par MM. Delasalle et Berthet.

Sans opposition de la part des Membres présents, ces candidats sont élus Membres titulaires de la Société.

M. le Président annonce les promotions suivantes dans l'ordre de la Légion d'Honneur :

Commandeur : M. GIRARDEAU (Emile), administrateur délégué de la Compagnie Générale de T.S.F.

Chevalier : M. LEBLANC (Maurice), directeur technique de la Société anonyme Hewittic.

M. le Président annonce le don de 4 phares Code et accessoires, de la Maison L. Cibié, pour les voitures de la Société.

M. JANICKI, présente sa communication sur « la transmission électrique à distance des indications de mesure et en particulier la totalisation à distance et leur importance pour les systèmes de distribution électrique » (1).

---

(1) Cette communication et les observations de M. Triau paraîtront in extenso dans le bulletin de mars 1931.

M. Triau, Ingénieur E.S.E. à la Société Siemens France, fait quelques observations au sujet de cette communication.

M. Cahen L. expose brièvement l'état actuel de la technique des câbles à longue distance et présente un film cinématographique de la pose du câble téléphonique Bordeaux-Toulouse, le long du canal du Midi (1)

M. le Président remercie MM. Janicki et L. Cahen, et prononce l'allocution suivante :

Messieurs,

La lecture des calendriers et consultation des horloges de la Société de Géographie tendent à me faire penser qu'une année complète s'est écoulée du 10 janvier 1930 au 10 janvier 1931, et qu'il est temps de résilier les fonctions dont vous avez bien voulu m'investir. Mais une voix intérieure me dit que cette période, qui m'a paru si courte, a été effectivement moins longue que l'année légale du fait de l'activité, du mouvement, de la vie, manifestés par vous tous, mes chers Collègues, et par nos amis étrangers, pendant cette année ; et je suis bien près de transformer une sensation en certitude mathématique par application des principes de la relativité qui veulent que le mouvement nous conserve une jeunesse, peut-être elle aussi, relative.

Les échanges féconds d'idées auxquels nous avons tous participé nous ont certainement empêchés de vieillir, et c'est votre activité soutenue qui a ralenti la machine à mesurer le temps.

Quoi qu'il en soit c'est avec une foi pleine et entière en l'invariante jeunesse de notre Société et en sa perpétuelle régénération symbolisée par le changement annuel de Président que je salue ici mon éminent Successeur Monsieur le Professeur Chaumat, qui va infuser à notre groupement une vie nouvelle.

C'est avec un plaisir mêlé d'espoir que je cède ici le fauteuil Présidentiel à mon ami Chaumat, dont les savantes leçons ont contribué si largement à la formation intellectuelle d'un grand nombre de nos Collègues.

La séance est levée à 19 heures.

(1) La communication de M. L. Cahen paraîtra dans un prochain bulletin.

TRAVAUX DES SECTIONS

SUCCESSION DE PHASES DES HARMONIQUES DANS LES BRANCHES D'UN RÉSEAU ÉQUILIBRÉ A NOMBRE DE PHASES QUELCONQUE (1)

par M. J. FALLOU.

On sait depuis longtemps que les harmoniques des courants contenus dans un système polyphasé engendrent dans les machines des champs tournants dont le sens varie avec le rang de l'harmonique.

Cette note n'a pour but que d'indiquer une démonstration rapide de la formule générale qui donne la succession de phases des harmoniques dans un réseau, quel que soit le nombre de phases.

On sait qu'un système de p vecteurs quelconques $A_1A_2\dots A_p$, peut constituer p systèmes symétriques, à savoir :

1° un système à succession de phases nulle, constitué par p vecteurs équipollents ;

2° $(p-1)$ systèmes polyphasés à successions de phases différentes.

Chaque système peut être défini par le vecteur représentatif correspondant dans la phase prise comme origine, et qui peut s'écrire :

$$(1)\quad \left\{\begin{array}{l} S_0 = \dfrac{1}{p}(A_1 + A_2 + A_3 + \cdots + A_p) \\ S_1 = \dfrac{1}{p}(A_1 + aA_2 + a^2A_3 + \cdots + a^{(p-1)}A_p) \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ S_q = \dfrac{1}{p}(A_1 + a^qA_2 + a^{2q}A_3 + \cdots + a^{q(q-1)}A_p) \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ S_{p-1} = \dfrac{1}{p}(A_1 + a^{(p-1)}A_1 + a^{2(p-1)}A_3 + \cdots + a^{(p-1)2}A_p), \end{array}\right.$$

a étant l'opérateur complexe $e^{j\frac{2\pi}{p}}$.

---

(1) Communication présentée à la séance du jeudi 1er mai 1930 de la 1re Section de la Société Française des Electriciens.

Chaque système d'ordre q comprend p vecteurs égaux à S_q et décalés successivement d'un angle $q\frac{2\pi}{p}$.

Ceci posé, dans un système polyphasé équilibré, les tensions et les courants dans chaque phase sont représentés par des vecteurs

$$
(2) \quad \left\{
\begin{array}{ll}
A_1 = \Sigma A_n e^{jn\omega t} \ldots & \text{dans la phase 1} \\
A_2 = \Sigma A_n e^{jn\omega t} e^{jn\frac{2\pi}{p}} \ldots & \text{dans la phase 2} \\
\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots & \ldots\ldots \\
A_p = \Sigma A_n e^{jn\omega t} e^{jn(p-1)\frac{2\pi}{p}} \ldots & \text{dans la phase } p.
\end{array}
\right.
$$

Avec chaque harmonique de rang n, on peut donc constituer un système à succession de phases q, dont le vecteur représentatif s'obtient en portant dans (1) les valeurs de $A_1A_2\ldots A_p$ tirées de (2), soit :

$$S_q = \frac{A_n e^{jn\omega t}}{p}\left[1 + a^{(q+n)} + a^{2(q+n)} + \cdots + a^{(p-1)(q+n)}\right].$$

Mais si l'on remarque que $a^{kp} = 1$, k étant un nombre entier quelconque, on voit que

$$S_q = A_n e^{jn\omega t} \qquad \text{pour} \qquad q + n = kp$$

et

$$S_q = 0 \qquad \text{pour} \qquad q + n \neq kp$$

D'où la conclusion suivante :

Les termes harmoniques de rang n appartiennent au système à succession de phases q et à celui-là seulement pourvu que l'on ait

$$n = kp - q.$$

Exemples :

1° *Système triphasé* ($p = 3$).

Succession de phases		Rang des harmoniques				
S_0	$(n = kp - 0)$	3	6	9	12	...
S_1	$(n = kp - 1)$	2	5	8	11	...
S_2	$(n = kp - 2)$	1	4	7	10	...

2° *Système quinquaphasé* ($p = 5$).

Succession de phases		Rang des harmoniques				
S_0	$(n = kp - 0)$	5	10	15	20	...
S_1	$(n = kp - 1)$	4	9	14	19	...
S_2	$(n = kp - 2)$	3	8	13	18	...
S_3	$(n = kp - 3)$	2	7	12	17	...
S_4	$(n = kp - 4)$	1	6	11	16	...

Champs tournants.

A) M. Genkin a démontré (1) que seuls les courants des deux systèmes S_1 et S_{p-1} créent des champs tournants dans les armatures polyphasées des machines ; ces champs tournent, l'un dans le sens positif, l'autre dans le sens négatif.

B) L'harmonique fondamental $(n = 1)$ appartient au système S_q tel que

$$q = p - 1.$$

Les harmoniques créant un champ tournant dans le même sens que le champ fondamental sont donc d'ordre

$$n = k'p - (p - 1) = kp + 1,$$

et ceux qui créent un champ tournant dans le sens contraire sont d'ordre

$$n = kp - 1.$$

Tous les autres harmoniques engendrent des champs pulsatoires.

On retrouve ainsi très rapidement des résultats classiques bien connus.

(1) Bulletin S. F. E. Supplément au n° d'octobre 1925.

DISCUSSION

M. Darrieus demande à M. Fallou si, à sa connaissance, M. Genkin a fait une réserve à sa démonstration qui n'est pas générale. Elle suppose, en effet, une distribution sinusoïdale pour les différentes phases alors que cette distribution peut laisser subsister des harmoniques de champ. On peut citer par exemple des phénomènes d'auto-excitation qui se sont manifestés sur des machines polyphasées à collecteur, du fait de ces harmoniques et qu'on pouvait faire disparaître en adoptant un pas convenable. On a pu constater d'autre part sur certaines machines pentaphasées, la présence des fréquences S_2 et S_3 qui auraient été exclues d'après la règle de M. Genkin.

M. de Pistoye fait remarquer qu'il y a lieu de considérer deux catégories d'harmoniques 3 : ceux dus à la forme non sinusoïdale du champ inducteur et ceux provenant du champ de réaction d'induit qui engendrent un champ tournant à la vitesse triple de celle du synchronisme. Un raccourcissement du pas ne peut avoir aucune influence sur ces derniers. On peut avoir intérêt à adopter le pas de 150° pour apporter une modification à la courbe, mais le pas choisi doit être différent de 180° ou de 120°.

M. Darrieus ajoute que le pas à 120° ne donne pas la même courbe que le pas à 180°, mais donne les mêmes harmoniques 5 et 7.

M. de Pistoye considère un enroulement à répartition hexaphasée et à pas diamétral. On peut décomposer cet enroulement d'une façon schématique suivant 2 cercles concentriques voisins où les différentes phases sont successivement numérotées 1, 2, 3, 1', 2', 3' comme il est indiqué sur la figure 1. Le pas étant diamétral les ampère-tours intérieurs sont égaux aux ampère-tours extérieurs et par conséquent la forme du champ n'est pas changée. Si, au contraire, le pas n'est pas diamétral, les ampère-tours intérieurs sont décalés et se composent à 120° ou à 60°.

M. Darrieus fait remarquer que cette addition géométrique est symbolique, puisqu'il s'agit d'une composition de vecteurs dans le temps. Le pas à 150° permet de se rapprocher davantage de la sinusoïde pour la distribution dans l'espace, puisque le polygone du champ résultant comporte 6 côtés au lieu de 3. Tout revient en somme à faire tourner la couche intérieure. Avec un pas à 120° on a, à un instant donné, 3 groupes différents d'ampère-tours ayant les valeurs relatives + 1, — 0,5 et — 0,5 dont la représentation graphique

donne par conséquent un tracé assez éloigné de la sinusoïde ; un instant après on a pour le champ une représentation trapézoïdale ; avec le pas à 150° on se rapproche davantage de la sinusoïde.

Répondant à une remarque de M. Gratzmuller, il fait remarquer que dans la composition des vecteurs, on considère le courant résultant dans une encoche sans rien préjuger de la répartition de l'ensemble de l'enroulement.

M. de Pistoye rappelle qu'on introduit des harmoniques pairs, en utilisant un pas raccourci.

M. Darrieus ajoute que dans les machines triphasées à collecteur, le décalage des balais introduit également des harmoniques pairs qui peuvent être éliminés par un double enroulement. En définitive, et comme conclusion de cette discussion, on peut dire qu'ayant décomposé la courbe donnée en sinusoïdes et composé entre eux les harmoniques correspondant à chaque phase, on voit que les uns tournent dans le sens fondamental et les autres en sens inverse.

LES ÉLECTROLYTES FORTS (Suite.)

LA CONDUCTIBILITÉ DES ÉLECTROLYTES *(Théorie de Debye).* [1]

par M. R. DUFOUR.

Les conséquences de la théorie des électrolytes forts, de Debye, sont envisagées en général sous deux points de vue. Le premier point de vue a été brièvement exposé dans un précédent article (Octobre 1930). Il est relatif aux phénomènes thermodynamiques (abaissement du point de congélation, élévation du point d'ébullition, forces électromotrices reversibles, activité). Le second point de vue exposé dans le présent article est relatif aux phénomènes de conductibilité.

La synthèse des deux points de vue s'est montrée capable de résoudre tout naturellement l'ensemble de difficultés qu'on réunissait depuis longtemps sous le nom « d'anomalies des électrolytes forts ».

Le fait fondamental qu'il s'agit d'interpréter est la diminution de la conductibilité moléculaire quand la concentration augmente. Selon Arrhénius cet effet est dû à la diminution du nombre d'ions présents, par diminution du coefficient de dissociation α. Ainsi la théorie d'Arrhénius donne un moyen de calculer α qui est alors égal à Λ/Λ_∞. Or, nous savons que les valeurs de α ainsi calculées ne satisfont pas en général à la loi d'action de masse et ne concordent pas avec les valeurs correspondantes calculées par d'autres méthodes. Des essais ont été tentés pour tenir compte de la viscosité de la solution croissante avec la concentration, mais ceux-ci n'ont donné que des résultats limités et tout à fait insuffisants.

Debye, par une analyse plus complète de ce qui se passe dans une solution d'ions est parvenu à donner une représentation satisfaisante des phénomènes de conductibilité pour le cas des solutions diluées et à montrer dans quel sens il faut compléter la théorie pour l'adapter à celui des solutions plus concentrées. Un certain nombre d'effets nouveaux prévus par cette théorie ont été trouvés récemment par l'expérience.

Nous avons vu qu'une solution d'ions s'organise d'une façon telle

---

(1) Communication présentée à la séance de la 3e Section du 21 juin 1930, sous la présidence de M. Ch. Marie.

qu'un excès d'ions d'un signe contraire entoure toujours un ion de signe donné. Cette condensation d'électricité de signe contraire autour d'un ion se fait en couches sphériques de densité décroissante selon une loi exponentielle, depuis la surface de l'ion jusqu'à l'infini. La distance à laquelle la densité électrique est réduite à la fraction $\frac{1}{e}$ de sa valeur s'appelle le rayon moyen de l'atmosphère ionique. La condensation de charges de signe contraire, est évidemment troublée par l'agitation thermique et elle est d'autant plus grande que le nombre d'ions des deux signes présents dans l'unité de volume est plus grand.

Le degré de condensation $\varkappa$ est donné par la formule :

$$\varkappa = \sqrt{\frac{4\pi\varepsilon^2}{DkT} \Sigma n_i z_i^2}.$$

L'épaisseur moyenne de l'atmosphère ionique est $\frac{1}{\varkappa}$. Dans cette formule ε est la charge de l'électron, k la constante de Boltzman, D le pouvoir inducteur spécifique, T la température absolue. n_i le nombre d'ions de l'espèce i par cm^3, z_i la valence de ces ions. L'expression $\Sigma n_i z^2$ peut être appelée la force ionique de la solution.

L'influence des divers facteurs D, T, et $\Sigma n_i z_i^2$ sur le degré de condensation est évidente.

Remarquons dès maintenant que, lorsqu'un seul électrolyte est dissous, le degré de condensation $\varkappa$ est proportionnel à la *puissance* $\frac{1}{2}$ *de la concentration*. Ce coefficient $\frac{1}{2}$ est caractéristique de la théorie de Debye, et donne lieu à une vérification cruciale de cette théorie.

Maintenant soit un ion de charge $e_i = \varepsilon z_i$, placé dans un champ X il prend une vitesse v_i telle que la force de frottement soit égale à la force électrique

$$\rho_i v_i = e_i X$$

ρ_i est le coefficient de frottement, $\frac{1}{\rho_i}$, la mobilité. Avec plusieurs ions on obtient ainsi un courant total

$$i = \Sigma n_i e_i v_i = \Sigma \frac{n_i e_i^2}{\rho_i} X$$

la conductibilité est donc $\lambda = \Sigma \frac{n_i e_i^2}{\rho_i}$

et la conductibilité moléculaire

$$\Lambda = \Sigma \frac{n_i}{n} \frac{e_i^2}{\rho_i}$$

n étant le nombre de molécules de l'électrolyte par cm^3. Dans la théorie d'Arrhénius la diminution de Λ quand n augmente s'interprète principalement par la diminution de $\frac{n_i}{n}$ et dans la théorie de Debye par l'augmentation de ρ_i. Nous devons donc chercher si l'organisation d'une solution caractérisée par la formation d'une atmosphère ionique autour de chaque ion, et l'existence d'un degré de condensation croissant avec la concentration est capable de produire un effet retardateur sur les ions soumis à un champ électrique extérieur. Or, nous trouvons ainsi deux effets retardateurs partiels qui s'ajoutent l'un à l'autre.

Effet d'Electrophorèse. — Si un ion déterminé supposé sphérique et de rayon a_i se déplaçait dans le solvant pur loin de toute autre particule chargée, il obéirait à la loi de Stokes, et serait soumis à une force de frottement égale à $6\pi\eta a_i v_i$; η dépendant du liquide; le coefficient de frottement serait alors $\rho = 6\pi\eta a_i$. Mais autour de l'ion existe une atmosphère ionique de signe contraire qui soumise au même champ extérieur que l'ion se déplace en sens inverse, entraînant tout le milieu avec elle. La vitesse v introduite plus haut est la vitesse relative de l'ion par rapport au liquide immédiatement environnant; la vitesse absolue sera donc plus petite et égale à

$$v_i + \Delta_e v_i.$$

Un calcul simple approximatif permet d'obtenir $\Delta_e v_i$. Le potentiel à distance r est

$$\varphi = \frac{e_i}{D} \cdot \frac{e^{-\varkappa r}}{r} \qquad (1)$$

or on a

$$\Delta\varphi = \varkappa^2\varphi = -\frac{4\pi\delta}{D} \qquad (2)$$

l'équation (2) ayant la solution (1) et δ étant la densité de charge en volume. On en déduit

$$\delta = -\frac{\varkappa^2 e_i}{4\pi}\,\frac{e^{-\varkappa r}}{r}.$$

La charge contenue entre les deux sphères de rayon r et $r + dr$ est

$$4\pi r^2 dr\delta = -r\varkappa^2 e_i e^{-\varkappa r},$$

la force résultante est $-re^{-\varkappa r}\varkappa^2 e_i X dr$; divisant par $6\pi\eta r$ on a la vitesse additionnelle (négative) résultant de l'action du champ X sur la couche d'épaisseur dr et de rayon r

$$\Delta_e^2 v_i = -\frac{\varkappa^2 e_i X e^{-\varkappa r}}{6\pi\eta}\,dr$$

intégrant de 0 à ∞ on trouve

$$\Delta_e v_i = - \frac{e_i \varkappa X}{6\pi\eta} .$$

Ce terme est proportionnel à la puissance $\frac{1}{2}$ de la concentration par l'intermédiaire du degré de condensation $\varkappa$.

Effet de relaxation. — Considérons un ion entouré de son atmosphère de signe opposé, nous avons vu que cette atmosphère résultait d'un équilibre statistique dans lequel intervenaient, d'une part, les forces électrostatiques et, d'autre part, l'agitation thermique. Si par la pensée nous enlevons l'ion central, l'équilibre est rompu, l'agitation thermique détruira l'organisation qui existait autour de l'ion disparu. Mais cette destruction demandera un certain temps. Le temps caractéristique θ nécessaire pour détruire la moitié de la densité en volume existant autour de l'ion disparu, s'appelle le temps de relaxation. Si, sous l'influence d'un champ extérieur X l'ion se déplace, l'agitation thermique détruit l'organisation aux points abandonnés successivement par l'ion, mais l'ion rétablit cette organisation aux nouveaux points

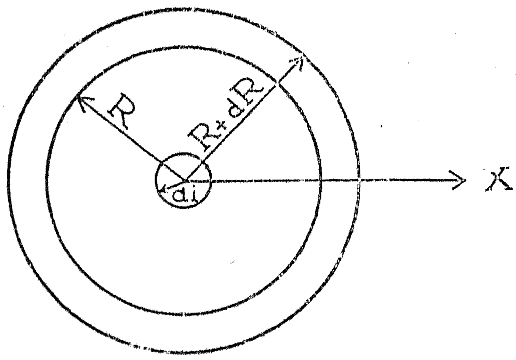


Figure 1.

où il arrive. Si la vitesse de l'ion est assez faible, il aura donc le temps de reconstruire en chaque point son atmosphère et cette dernière ne sera pas différente de celle qui entoure un ion immobile, mais si la vitesse est notable, la densité de charge opposée disparaîtra avec un certain retard à l'arrière de l'ion mobile et apparaîtra avec un pareil retard à l'avant. La densité opposée sera donc toujours plus grande à l'arrière qu'à l'avant et l'action résultante sera retardatrice au total.

La théorie du mouvement Brownien appliquée à ce phénomène, conduit au résultat suivant. La densité en volume δ_0 en un point M à distance r d'un ion en mouvement avec une vitesse v_i est égale à

$$\delta_0 = -\frac{e_i \varkappa^2}{4\pi} \cdot \frac{e^{-\varkappa r}}{r} + \frac{\rho v_i}{kT} \frac{e_i \varkappa^2}{4\pi} e^{-\varkappa r} \cos\theta,$$

ρ étant la force moyenne de frottement.

Cette densité dépend de l'angle θ que fait le rayon vecteur du point considéré dans le voisinage de l'ion, avec la vitesse $\vec{v_i}$. Fig. 1.

La distribution des densités δ_0 a évidemment $\vec{v_i}$ pour axe. Enfin δ_0 se compose de 2 termes, le premier comme on l'a vu correspond au cas statique et n'introduit pas de force antagoniste; le deuxième correspond à une densité du signe de l'ion, à l'avant $\left(-\frac{\pi}{2} < \theta < \frac{\pi}{2}\right)$ et de signe contraire à l'arrière, l'action résultante est bien retardatrice; elle a pour valeur

$$-\frac{\rho v_i}{kT} \frac{e_i^2}{6D} \varkappa$$

avec

$$\rho = \frac{\Sigma n_i e_i^2 \rho_i}{\Sigma n_i e_i^2}.$$

La force retardatrice est ici encore proportionnelle à la racine carrée de la concentration par l'intermédiaire de $\varkappa$.

Ordres de grandeur des deux effets précédents.

1° De l'effet d'Electrophorèse.

Dans le solvant pur, la vitesse de l'ion d'espèce i serait

$$v_i^0 = \frac{e_i X}{\rho_i} = \frac{e_i X}{6\pi\eta a_i},$$

la vitesse soustractive est

$$\Delta_e v_i^0 = -\frac{e_i X}{6\pi\eta} \varkappa,$$

on a donc le rapport

$$\left| \frac{\Delta_e v_i^0}{v_i^0} \right| = \varkappa a_i,$$

or pour une solution d'un seul uni-univalent, l'expression

$$\varkappa = \sqrt{\frac{4\pi\varepsilon^2}{DkT} \Sigma n_i z_i^2}$$

devient

$$\varkappa = 0{,}326\,10^8 \sqrt{\gamma}$$

avec $\gamma = \frac{n_i}{N} \overline{10^{-3}}$ en molécules par litre, n_i étant en molécules par cm^3 et

$$\varepsilon = 4{,}45.10^{-10},$$
$$k = 1{,}346.10^{-16},$$
$$D = 88{,}23 \text{ à } 273° \text{ abs.},$$
$$T = 273 \text{ abs.},$$
$$N = 6{,}5\,10^{23}.$$

l'égalité $\varkappa = 0{,}326\ 10^8\sqrt{\gamma}$ comparée à $\left|\frac{\Delta_e v_i^0}{v_i^0}\right| = a_i\varkappa$ donne

$$a_i\varkappa = 0{,}326.a_i 10^8\sqrt{\gamma}.$$

Le rayon d'un ion étant supposé de l'ordre de 10^{-8} cm, on voit que pour $\gamma = 1$ molécule par litre, le rapport cherché est égal à 0,326, et pour $\gamma = 1/100$ molécule par litre à 0,0326.

2° De l'effet de Relaxation.

La force retardataire $-\frac{\rho v_i}{kT}\frac{e_i^2}{6D}\varkappa$ donnerait une vitesse

$$\Delta_r v_i = -\frac{\rho}{\rho_i}\frac{v_i}{kT}\frac{e^2}{6D},$$

d'où

$$\left|\frac{\Delta_r v_i}{v_i}\right| = \frac{\rho}{\rho_i}\frac{e_i^2}{6DkT}\varkappa.$$

Si on suppose, pour simplifier, que tous les ρ_i soient égaux entre eux, ainsi qu'à ρ, le rapport cherché est égal à

$$\frac{e^2}{6DkT}\varkappa,$$

on trouve alors

$$\frac{e_i^2}{6DkT} = 1{,}17\ 10^{-8},$$

d'où pour le rapport l'expression $0{,}382\sqrt{\gamma}$; l'ordre de grandeur est le même que celui de l'effet d'électrophorèse.

Le temps de relaxation θ a pour ordre de grandeur

$$\theta \cong \frac{\rho}{\varkappa^2 kT}$$

Il est d'autant plus grand que le coefficient de frottement des ions est plus grand et d'autant plus court que le degré de condensation $\varkappa$ et la température T sont plus grands.

Effet résultant. — Soit v_i la vitesse uniforme prise par l'ion d'espèce i. Nous devons écrire que la somme de toutes les forces agissant sur lui est alors nulle. Ces forces sont en résumé :

La force électrique ordinaire due au champ extérieur X

$$e_i X.$$

La force de frottement ordinaire (Stokes)

$$-6\pi\eta_i a_i v_i = -\rho_i v_i.$$

La force d'électrophorèse

$$-6\pi\eta_i a_i e_i X\varkappa = -\rho_i e_i X\varkappa.$$

La force de relaxation

$$-\frac{\rho v_i}{kT}\frac{e_i^2}{6D}\varkappa.$$

L'équation d'équilibre de toutes ces forces est :

$$e_iX - \rho_i e_i X\varkappa - \rho_i v_i - \rho v_i \frac{e_i^2}{6DkT}\varkappa = 0.$$

En première approximation, nous pouvons remplacer dans cette dernière v_i par $v_i^0 = \frac{e_iX}{\rho_i}$, on obtient alors :

$$v_i = \frac{e_iX}{\rho_i}\left[1 - \frac{\rho}{\rho_i}\frac{e_i^2\varkappa}{6DkT} - a_i\varkappa\right].$$

Conductibilité spécifique. — Cette conductibilité est égale à

$$\lambda = \frac{1}{X}\Sigma n_i e_i v_i,$$

ce qui conduit à

$$\lambda = \sum \frac{n_i e_i^2}{\rho_i} - \varkappa\left[\sum \frac{n_i e_i^4}{6DkT}\frac{\rho}{\rho_i^2} + \sum \frac{n_i e_i^2}{\rho_i}a_i\right].$$

Si les ions se déplaçaient comme dans le solvant pur, on aurait simplement :

$$\lambda_0 = \sum \frac{n_i e_i^2}{\rho_i}.$$

Nous pouvons définir l'abaissement relatif de conductibilité

$$\frac{\lambda_\infty - \lambda}{\lambda_\infty} = 1 - \frac{\lambda}{\lambda_\infty},$$

et l'on trouve

$$1 - \frac{\lambda}{\lambda_\infty} = \varkappa\left[\frac{\sum \frac{n_i e_i^4}{6DkT}\frac{\rho}{\rho_i^2}}{\sum \frac{n_i e_i^2}{\rho_i}} + \frac{\sum \frac{n_i e_i^2}{\rho_i}a_i}{\sum \frac{n_i e_i^2}{\rho_i}}\right].$$

Cette expression, dans laquelle aucune hypothèse n'est faite sur la nature de la substance dissoute, est valable pour un mélange.

Cas particulier d'un seul électrolyte dissous.

Soit un seul électrolyte dissous à raison de n molécules par cm³.

Supposons qu'il se dissocie en donnant $\nu_1\nu_2\ldots\nu_i$ ions de valences respectives $z_1z_2\ldots z_i$, on a $n_i = n\nu_i$; posons $\nu = \Sigma\nu_i$.

Les conductibilités moléculaires sont

$$\Lambda = \frac{\lambda}{n}, \qquad \Lambda_\infty = \frac{\lambda_\infty}{n},$$

on obtient alors

$$1 - \frac{\lambda}{\lambda_\infty} = 1 - \frac{\Lambda}{\Lambda_\infty} = \varkappa\left[\frac{\sum \frac{\nu_i z_i^4}{6DkT}\frac{\rho}{\rho_i^2}\varepsilon^2}{\sum \frac{\nu_i z_i^2}{\rho_i}} + \frac{\sum \frac{\nu_i z_i^2}{\rho_i}a_i}{\sum \frac{\nu_i z_i^2}{\rho_i}}\right].$$

$$1 - \frac{\Lambda}{\Lambda_\infty} = \sqrt{\frac{4\pi\varepsilon^2}{DkT}\nu n}\left[\frac{\varepsilon^2}{6DkT}W_1 + aW_2\right].$$

avec
$$W_1 = \frac{\Sigma \nu_i z_i^2 \rho_i}{\sqrt{\nu \Sigma \nu_i z_i^2}} \cdot \frac{\sum \frac{\nu_i z_i^4}{\rho_i^2}}{\sum \frac{\nu_i z_i^2}{\rho_i}} .$$
$$W_2 = \sqrt{\sum \frac{\nu_i z_i^2}{\nu}},$$
$$a = \frac{\sum \frac{\nu_i z_i^2}{\rho_i} a_i}{\sum \frac{\nu_i z_i^2}{\rho_i}},$$

(rayon moyen des ions). L'expression $1 - \frac{\Lambda}{\Lambda_\infty}$ est celle dont nous avons étudié la valeur limite expérimentale aux grandes dilutions dans la première partie de cet article. Nous avons vu que la loi d'action de masse conduisait à la relation
$$1 - \frac{\Lambda}{\Lambda_\infty} kn^{\nu-1},$$
c'est-à-dire dans le cas de KCl : $1 - \frac{\Lambda}{\Lambda_\infty} = kn$ (droite), et dans le cas de $MgCl_2$: $1 - \frac{\Lambda}{\Lambda_\infty} = kn^2$ parabole ; or l'expérience et la théorie actuelle donnent ensemble $1 - \frac{\Lambda}{\Lambda_\infty}$ proportionnel à $n^{\frac{1}{2}}$, ce qui est une première confirmation.

Si maintenant nous posons
$$n = 6{,}06\ 10^{20}\gamma \quad (\gamma \text{ concentration en molécules par litre})$$
on a
$$1 - \frac{\Lambda}{\Lambda_\infty} = [0{,}278\ W_1 + 0{,}233\ 10^8\ a\ W_2]\sqrt{\nu\gamma}.$$

Remarques. — La théorie thermodynamique donne pour l'abaissement relatif du point de congélation
$$1 - \frac{\Delta}{\Delta_c} = 0{,}278\ W\sqrt{\nu\gamma}.$$
Il existe donc une certaine relation entre $\frac{\Lambda}{\Lambda_\infty}$ et $\frac{\Delta}{\Delta_c}$ (valeurs du pseudo coefficient de dissociation tirées l'une des mesures de conductibilité, l'autre des mesures cryoscopiques).

Mais on ne peut de toute façon considérer $\frac{\Delta}{\Delta_c}$ que comme étant du même ordre de grandeur que $\frac{\Lambda}{\Lambda_\infty}$; d'ailleurs dans W_1 figurent les coefficients de frottement des ions alors que dans W ils ne figurent pas.

$$W = \left[\frac{\Sigma \nu_i z_i^2}{\nu}\right]^{\frac{3}{2}}.$$

Les coïncidences entre $\frac{\Delta}{\Delta_c}$ et $\frac{\Lambda}{\Lambda_\infty}$ doivent être considérées comme fortuites.

Outre l'accord avec l'expérience en ce qui concerne l'exposant $\frac{1}{2}$ de n, la formule permet de confronter la théorie et l'expérience en ce qui regarde les valeurs des coefficients.

Valeurs de W_1. — Posons $\sigma_1 = \frac{\rho_1 + \rho_2}{\rho_1}$, $\sigma_2 = \frac{\rho_1 + \rho_2}{\rho_2}$ et remarquons que pour le cas particulier de 2 ions de même mobilité $\sigma_1 = \sigma_2 = 0{,}5$. Les valeurs de W_1 sont alors respectivement

	KCl (type 1 — 1)	K_2SO4 (type 1 — 2)	MgSO4 (type 2 — 2)
W_1	1	4,24	8

ce qui correspond à la règle qui dit que pour une même concentration équivalente l'écart $\Lambda_\infty - \Lambda$ est d'autant plus grand que la valence des ions est plus grande.

Valeurs de W_2. — On trouve pour les 3 types de sel :

	KCl	K_2SO4	MgSO4
W_2	1	$\sqrt{2} = 1{,}414$	$\sqrt{4} = 2.$

Résultats numériques. — Debye compare la relation théorique :

$$1 - \frac{\Lambda}{\Lambda_\infty} = [0{,}278\ W_1 + 0{,}233\,10^8\, a\ W_2]\sqrt{\nu\gamma} \qquad (3)$$

après l'avoir écrite sous la forme

$$\Lambda = \Lambda_\infty - \Lambda_\infty[0{,}278\ W_1 + 0{,}233\ 10^8\ a\ W_2]\sqrt{\nu\gamma}$$

avec la formule expérimentale connue :

$$\Lambda = \Lambda_\infty - \alpha\sqrt{\nu\gamma} + \beta(\nu\gamma)$$

Λ_∞, α, β ont été tirés des mesures de Kohbranch, par la méthode des moindres carrés, pour les concentrations

$$\gamma = 10^{-4} \quad 2{,}10^{-4} \quad 5{,}10^{-4}$$
$$10^{-3} \quad 2{,}10^{-3} \quad 5{,}10^{-3}.$$

La relation trouvée pour KCl est

$$\Lambda = 129{,}93 - 59{,}94\sqrt{2\gamma} + 45{,}3(2\gamma)$$

aux grandes dilutions elle se réduit à

$$\Lambda = 129{,}93 - 59{,}94\sqrt{2\gamma} \qquad (4)$$

et c'est sous cette forme que nous devons la comparer à (3). Si nous calculons W_1 qui dépend seulement des valences et W_2 qui dépend des valences et des mobilités (tirées des données supposées exactes relatives aux nombres de transports), nous pouvons en comparant (3) et (4) tirer les valeurs de $10^8 a$. On trouve alors d'une façon générale et surtout pour des sels du type 1 — 1, des nombres qui sont tout à fait de l'ordre de grandeur de ceux qu'on doit attendre pour le rayon des ions.

Pour les sels du type 1 — 2, le même calcul conduit à des valeurs acceptables sauf pour K_2SO4 qui demande à être étudié à part (grande valeur négative de β).

Enfin, pour les sels du type 2 — 2, on arrive à des valeurs de b un peu trop grandes. Ceci nous montre que pour le cas des ions de haute valence une théorie plus complète semble nécessaire.

Nouveaux effets prévus par la théorie.

Deux importants effets vérifiés par l'expérience sont prévus par la théorie, à savoir : la variation de la conductibilité avec la fréquence et la variation de la conductibilité avec le champ électrique.

I. — *Variation de la conductibilité avec la fréquence.*

(Expériences de Debye et Falkenhagen).

Quand la période du champ électrique variable est petite par rapport au temps de relaxation il est clair que l'effet de relaxation disparaît. Donc, à partir d'une certaine fréquence, la conductibilité augmente et tend vers une limite.

Si d'une façon générale on a

$$\Lambda = \Lambda_0 - \Delta_e - \Delta_R.$$

Δ_R tend vers 0 quand la fréquence augmente indéfiniment.

Il se produit une véritable dispersion de la conductibilité à partir d'une fréquence critique qui est d'autant plus élevée que le temps de relaxation est plus petit, c'est-à-dire que le degré de condensation est plus grand; que la température est plus élevée, et que le frottement des ions est plus faible.

II. — *Variation de la conductibilité avec le champ électrique.*

Quand le champ augmente, la vitesse de l'ion peut devenir telle qu'il s'échappe hors de son atmosphère ionique, l'effet de relaxation s'annule donc encore ici comme plus haut, mais en plus l'atmosphère ionique

étant disparue, l'effet d'électrophorèse disparaît du même coup. On doit trouver des conductibilités moléculaires égales à la conductibilité limite, c'est ce qui a été vérifié entièrement dans de récentes expériences.

Conclusions.

La théorie de Debye que nous venons d'exposer dans ses grandes lignes donne une représentation en accord avec l'expérience des lois limites des électrolytes forts en solution diluée (c'est-à-dire quand les interactions électrostatiques entrent seules en jeu sans que les propriétés individuelles (chimiques) des ions interviennent.

Pour un degré plus haut de concentration, la théorie de Debye est insuffisante dans son état actuel, mais elle constitue le cadre dans lequel les nouveaux développements prendront place. Et ce qui est plus important au point de vue de sa valeur, elle suggère elle-même le sens dans lequel doivent se produire ces développements.

Si donc la théorie actuelle est incomplète, il paraît certain qu'elle doit servir de point de départ aux développements ultérieurs.

Les points suivants doivent être considérés comme acquis.

1° Toute théorie complète des électrolytes doit être fondée sur l'existence d'une organisation statistique des ions dans la solution avec formation autour de chaque ion d'une *atmosphère ionique*, de signe opposé; cette atmosphère est caractérisée par son degré de condensation.

Une conséquence importante de la formation d'une telle atmosphère est l'existence d'une énergie potentielle électrique, localisée dans la solution. Toutes les propriétés thermodynamiques d'une solution sont affectées par cette existence. Les anomalies thermodynamiques trouvent en elle leurs explications et la notion fondamentale de l'activité s'introduit tout naturellement aussi bien par la voie théorique que par la voie expérimentale pour servir à une représentation simple et qui pourrait peut-être, avec quelques efforts, devenir intuitive, des phénomènes.

L'existence de l'atmosphère ionique étend ses conséquences jusqu'aux phénomènes irréversibles de la conductibilité électrolytique; ceux-ci peuvent être exposés quantitativement, dans une mesure déjà importante (solution très diluée d'ions) en faisant intervenir les deux effets caractéristiques de *l'électrophorèse* et de la *relaxation*.

En outre, des effets nouveaux sont prévus par la théorie, et dès

maintenant, vérifiés par l'expérience (dispersion de la conductibilité, augmentation de la conductibilité dans les champs intenses.

Une dernière question n'est pas encore définitivement résolue, c'est celle de la dissociation plus ou moins complète des électrolytes forts.

Enfin, en ce qui concerne la vraie constante de dissociation, remarquons que la théorie de Debey ne suppose pas nécessairement une dissociation totale, mais qu'elle s'applique indifféremment à la partie dissociée des électrolytes forts (sans doute voisine de l'unité) et à celle des électrolytes faibles qui est beaucoup plus petite.

L'explication que l'on tend à donner de la différence entre les électrolytes forts et faibles est la suivante :

Un électrolyte fort constitué par deux ions de signe contraire, n'a pas à vrai dire de coefficient de dissociation, la distance des deux ions pouvant varier depuis une petite distance (contact de deux ions) jusqu'à une distance très grande.

La molécule des électrolytes faibles, mise en solution, peut exister sous deux formes en équilibre ; l'une de ces formes, non ionisée, est indissociable, l'autre, ionisée, est presque totalement dissociée.

Ainsi l'acide acétique normal présente une dissociation apparente de 0,4 pour cent. Cette dissociation apparente est due à l'existence de 99,5 pour cent d'acide non ionisé [CH_3COOH] et de 0,5 pour cent d'acide ionisé [CH_3COO]$^-H^+$ qui se dissocie presque totalement comme tout électrolyte fort et conduirait s'il était seul à une dissociation apparente de 80 pour cent environ. Au total on obtient une dissociation apparente de 0,4 pour cent.

Cette conception, jointe aux idées récentes sur le mécanisme électronique des liaisons chimiques, permet en particulier d'expliquer pourquoi les électrolytes faibles sont en général des acides et des bases, et pourquoi les sels sont en général des électrolytes forts, même s'ils proviennent d'un acide faible et d'une base faible.

ANALYSE D'UNE COMMUNICATION DE M. BARFIELD A L'INSTITUTION OF ELECTRICAL ENGINEERS SUR LES PROGRÈS RÉCENTS EN RADIOGONIOMÉTRIE

par M. E. Bellini (1).

M. Barfield a exécuté une étude très complète pour comparer les manières de se comporter d'un cadre radiogoniométrique ordinaire et d'un radiogoniomètre utilisant un ou plusieurs aériens Adcock. Le but de cette étude était plus particulièrement de déterminer les erreurs de relèvement de ces deux types de radiogoniomètres dans deux cas : 1° erreurs de nuit et 2° relèvement des avions. Les observations ont porté sur les ondes moyennes (300 à 600 m de longueur) et sur les ondes courtes (12 à 60 m).

Au début de la radiogoniométrie, il y a plus de 20 ans, on ne s'attendait pas à trouver des erreurs de relèvement. Etant donné que les radiogoniomètres étaient très peu répandus avant la guerre, on n'avait pas eu l'occasion de faire des séries de relèvements suivies et de rencontrer par conséquent des erreurs. Les nécessités militaires de la guerre ayant donné une très grande impulsion à la radiogoniométrie, on fut étonné de remarquer des erreurs très élevées, surtout pendant la nuit. On attribua très justement ces erreurs à la réception des rayons réfléchis par la couche d'Heaviside.

Un cadre, à raison même de sa symétrie, reçoit dans les mêmes conditions les rayons directs qui arrivent horizontalement et les rayons réfléchis qui arrivent plus ou moins verticalement. Cette réflexion étant irrégulière, le plan de polarisation des rayons réfléchis ne sera plus le plan vertical passant par les deux postes. Donc deux causes d'erreurs.

Pour supprimer la plus grande partie de ces erreurs, il s'agissait de trouver un aérien dirigeable incapable de recevoir les rayons verticaux.

M. Adcock inventa dans ce but en 1919, l'aérien qui porte son nom.

---

(1) Analyse présentée à la séance du 23 mai 1930 de la 5e Section de la Société française des Electriciens, sous la présidence de M. Reynaud-Bonin.

Cet aérien est essentiellement constitué par deux antennes verticales coupées à leur moitié et reliées à une bobine comme l'indique la figure 1.

Il est facile de se rendre compte qu'un rayon électromagnétique vertical ne produit pas de courant dans la bobine qui relie les deux antennes verticales. Cet aérien doit donc être relativement exempt des erreurs de nuit si celles-ci sont dues aux rayons réfléchis par la couche d'Heaviside et si ceux-ci arrivent verticalement.

En effet, les longues observations faites sur des ondes moyennes

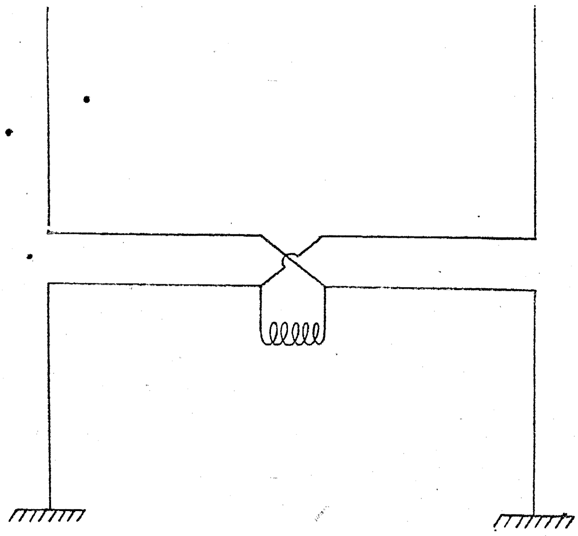


Fig. 1.

par MM. Smith-Rose et Barfield et publiées en 1926, montrèrent que les erreurs de relèvement étaient pratiquement inexistantes avec l'aérien Adcock, tandis qu'elles pouvaient être très grandes avec un cadre ordinaire. Seulement, à cause de la faible réceptivité de l'aérien Adcock pour les ondes moyennes, il faut le faire de grandes dimensions, et on est, par conséquent, amené à en employer deux perpendiculaires, fixes, reliés à un radiogoniomètre Bellini-Tosi pour obtenir les relèvements. En outre, M. Adcock avait été obligé de suspendre en l'air la cabine des opérateurs, à mi-hauteur des antennes pour obtenir un résultat satisfaisant (fig. 2).

M. Barfield a réussi à ramener à la surface du sol la cabine des opérateurs en utilisant le montage de la figure 3, dans lequel la partie inférieure de chacune des deux antennes de chaque aérien Adcock est

remplacée par un condensateur variable relié à la terre. Un dispositif spécial de compensation permettait de régler les capacités de ces

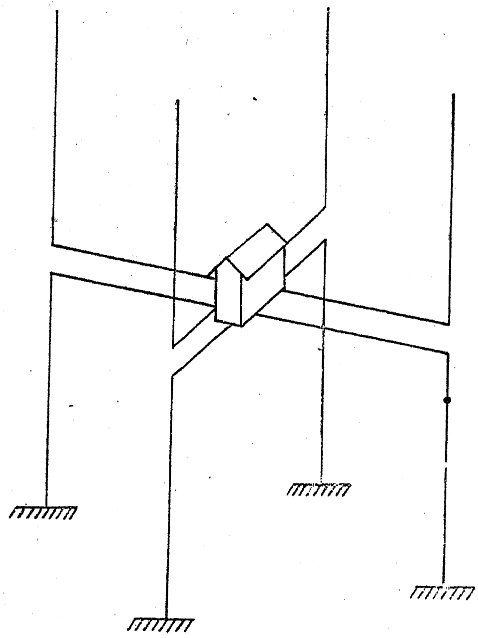


Fig. 2.

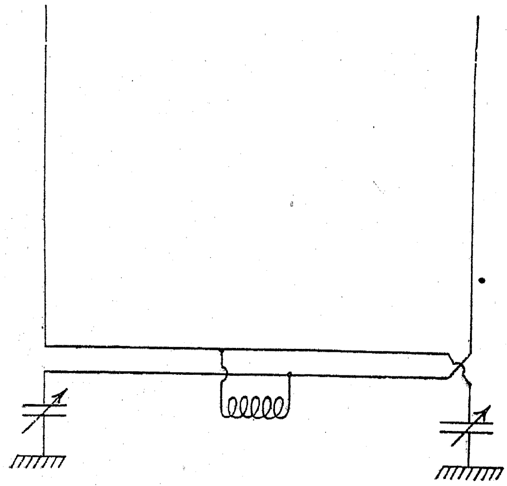


Fig. 3.

condensateurs de façon que les impédances des deux moitiés de chaque antenne verticale soient identiques.

Des observations comparatives faites sur ondes moyennes (300 à

600 m), entre un radiogoniomètre à cadre et un autre à aériens Adcock compensés, ont donné les résultats suivants :

1° Pendant le jour les deux appareils donnent des relèvements exacts.

2° Pendant la nuit, les relèvements donnés par le cadre sont affectés d'erreurs considérables, tandis que les erreurs de l'Adcock ne sont que de quelques degrés.

Pour la radiogoniométrie des ondes courtes (12 à 60 m), M. Barfield a employé un seul aérien Adcock tournant, dont les parties horizontales étaient blindées, ainsi que l'ensemble des appareils récepteurs (changeur de fréquence). Egalement le cadre tournant et ses appareils étaient du type blindé. Les résultats ont été les suivants :

1° Pour des distances n'excédant pas 30 milles la nuit et 70 milles le jour, les deux appareils donnent de bons relèvements.

2° Dans l'intervalle compris entre 30 et 500 milles la nuit et 70 et 500 milles le jour, aucun relèvement n'est possible avec aucun des deux appareils, ce qui force à conclure que dans ces intervalles les ondes sont déviées latéralement.

3° Au delà de 500 milles, le radiogoniomètre à cadre est inutilisable, à cause de l'absence d'extinctions ou de minima, tandis que le radiogoniomètre Adcock donne des relèvements suffisamment exacts (erreur maximum 5°).

4° Une condition indispensable pour que les deux appareils puissent fonctionner est de les disposer au moins à 100 mètres de tout obstacle naturel ou artificiel (arbres, conducteurs, etc.).

La radiogoniométrie des avions a été également étudiée par M. Barfield. Les rayons émis par un avion sont comparables à ceux réfléchis par la couche d'Heaviside pour deux raisons : 1° parce qu'ils peuvent avoir une forte inclinaison sur le plan horizontal et 2° parce que leur plan de polarisation peut varier avec l'orientation de l'avion, étant donné que l'antenne pendante est loin d'être verticale.

Pour déterminer la façon de se comporter des deux appareils pour les ondes moyennes, M. Barfield a suspendu un petit poste émetteur au câble d'un cerf-volant, ce qui permettait d'obtenir une inclinaison de l'antenne de 30° à 60° par rapport à la verticale et un angle entre le rayon et la verticale compris entre 30° et 80°.

Les résultats de ces expériences ont été les suivants :

1° Les deux appareils présentent des erreurs, mais celles du cadre sont beaucoup plus grandes que celles de l'Adcock.

2° Ces erreurs augmentent, soit quand l'angle entre le rayon et la verticale diminue, soit quand l'angle entre l'antenne d'émission et la verticale augmente.

Pour les essais sur ondes courtes (12 à 60 m) l'appareil émetteur était disposé à la tête d'un mât télégraphique de 13 m de hauteur. On pouvait faire tourner l'antenne autour d'un axe horizontal pour changer le plan de polarisation. En rapprochant plus ou moins le radiogoniomètre du mât on pouvait faire varier l'angle d'incidence. Les résultats ont été analogues à ceux obtenus avec les ondes moyennes.

Cette longue série de laborieuses expériences a en résumé :

1° fourni la possibilité de ramener à la surface du sol la cabine de l'aérien ADCOCK ;

2° confirmé la possibilité de supprimer l'erreur de nuit pour les ondes moyennes et longues ;

3° amélioré les conditions de relèvement des avions sur toutes ondes.

COMPTE RENDU DES ESSAIS ENTREPRIS A DOLLIS HILL PAR LE 6e COMITÉ D'ÉTUDES DE LA COMMISSION MIXTE INTERNATIONALE POUR LES EXPÉRIENCES RELATIVES A LA PROTECTION DES LIGNES DE COMMUNICATION (17-19 MARS 1930)

par M. Collet,
Ingénieur en chef des P. T. T. (1)

Lorsqu'une ligne d'énergie se trouve dans le voisinage immédiat d'une ligne téléphonique, il se développe généralement des courants induits qui, se propageant dans le circuit, atteignent le récepteur téléphonique et produisent des bruits qui couvrent plus ou moins la conversation ou du moins gênent l'audition.

Afin de déterminer les conditions d'éloignement entre les lignes d'énergie et les lignes téléphoniques, qu'il convient d'observer pour que les communications téléphoniques soient assurées avec une sécurité suffisante, il est utile de connaître la relation qui existe entre l'effet perturbateur des courants parasites et l'intensité de ces courants.

Provisoirement, et comme résultat d'expériences incomplètes, mais cependant dignes d'être prises en considération, le Comité Consultatif des Communications Téléphoniques à grande distance avait admis en 1925, que le trouble apporté aux communications téléphoniques pouvait être caractérisé par la tension de bruit, définie en principe, de la manière suivante dans un cas particulier : étant donné un circuit terminé à une de ses extrémités par un récepteur d'impédance égale à l'impédance caractéristique du circuit (supposé homogène), s'il circule dans ce circuit des courants parasites, ces courants provoquent dans le récepteur des bruits qui peuvent être écoutés par un observateur. Si, d'autre part, cet observateur dispose d'une source de courants périodiques (soit de courants sinusoïdaux de fréquence déterminée), soit de courants engendrés par un rupteur vibrant de cou-

(1) Communication présentée à la séance du 23 mai 1930 de la 5e Section de la Société française des Electriciens, sous la présidence de M. Reynaud-Bonin.

rant continu), il peut alimenter son récepteur téléphonique au moyen de cette source, soit directement, soit à travers un dispositif potentiométrique, en tout cas d'une manière telle que l'intensité du courant traversant alors le récepteur puisse être mesurée ou repérée. Bien que le bruit développé dans ces conditions ait un timbre différent du bruit perçu lors de l'écoute sur le circuit, on peut espérer qu'avec une certaine approximation, l'opérateur pourra régler l'intensité du courant fourni par la source auxiliaire de telle sorte que, dans les deux cas, il aura la même impression d'intensité sonore.

Dans le cas d'une ligne dont l'impédance était de 600 ohms, et d'une source auxiliaire d'impédance intérieure égale à 600 ohms engendrant un courant de 800 p : s., on définissait alors la tension de bruit comme la force électromotrice de la source qui correspondait au réglage décrit.

Un appareil, de construction allemande, permettait simplement cette mesure.

D'autre part, un appareil américain, reposant sur le même principe, permettait de caractériser l'intensité du bruit au moyen d'unités arbitraires, « noise units ». Dans cet appareil le bruit étalon était provoqué par les ruptures périodiques d'un circuit parcouru par du courant continu.

Toujours est-il que le C.C.I. avait admis que la limite tolérable des bruits induits sur un circuit aérien international était déterminée par la valeur de 5 mV de la tension de bruit.

Ce chiffre ne pouvait manquer d'être contesté : d'une part, il était permis de douter *à priori* que les mesures faites dans les conditions indiquées eussent quelque précision. D'autre part, la définition de la limite d'une gêne tolérable est toujours discutable.

Aussi le C.C.I. n'a-t-il pas manqué de mettre à l'étude 3 questions : 1° préciser d'une part, comment peut être caractérisé le trouble apporté aux communications téléphoniques par la présence de courants parasites sur les circuits ; 2° d'autre part comment peut être définie et mesurée la grandeur qui caractérise ce trouble ; 3° enfin, quelle limite tolérable doit être assignée à cette grandeur.

Cette étude demandant des déterminations expérimentales, le soin de réunir ses éléments fut confié au 6e Comité d'Etudes de la C.M.I. (Commission mixte internationale pour les expériences relatives à la protection des lignes de télécommunication), dont le président-rapporteur est un ingénieur du Post Office Britannique, M. Bartholomew.

Un premier principe s'est dégagé des études entreprises ; la qualité d'un circuit téléphonique peut être caractérisée par sa netteté, c'est-

à-dire, grosso modo, par le rapport du nombre des monosyllabes correctement perçues par l'auditeur, dans le cours d'une longue dictée à travers le circuit, au nombre des monosyllabes prononcées. Ainsi, la gène apportée à la conversation téléphonique, la dépréciation du circuit téléphonique causée par la présence de bruits parasites, peut être représentée par la perte relative de netteté qui en résulte.

Les essais effectués, notamment par la section de Recherches du P.O. Britannique ont montré que cette perte de netteté était à la fois fonction de l'intensité des courants parasites dans le récepteur (ou, si on le veut, de la tension aux bornes de ce récepteur), des autres caractéristiques de transmission du circuit, mais encore du timbre des bruits, c'est-à-dire, en particulier s'il s'agit de sons purs, de la fréquence de ces sons : à égalité d'intensité de courant, et pour les récepteurs téléphoniques des types usuels, les sons les plus gênants sont ceux dont la fréquence est de l'ordre de 1100 p : s.

D'autre part, il a paru intéressant de comparer entre eux les résultats de mesure de la tension de bruit (suivant la définition du C.C.I.) avec les résultats de la mesure des bruits au moyen de l'appareil américain, et enfin les valeurs effectives de la tension aux bornes du récepteur téléphonique.

Ces essais ont pu être effectués au cours de la réunion du 6ᵉ Comité d'Etudes de la C.M.I., à Dollis Hill dans les laboratoires de recherches du Post Office, les 17, 18 et 19 mars 1930, où ont d'abord été exposés les résultats acquis lors des expériences antérieurement entreprises.

De ces déterminations résulte que l'emploi des méthodes de simple comparaison auditive de bruits donne des résultats très différents avec divers observateurs et qu'ainsi, il y a lieu de rechercher une méthode permettant d'obtenir des résultats indépendants de la personne qui effectue la mesure. La méthode devra tenir compte du fait que l'altération de la qualité de la réception téléphonique d'une conversation dépend non seulement de la valeur des tensions parasites, mais aussi de la fréquence de leurs composantes. Il semble enfin qu'une méthode répondant à ces conditions devrait comporter des lectures sur un appareil de mesure de tensions efficaces qui serait connecté à la ligne à étudier par l'intermédiaire d'un réseau filtrant ne transmettant les diverses fréquences que dans la proportion où leur présence est susceptible d'altérer la qualité de la réception téléphonique.

Des essais nouveaux seront entrepris en vue de compléter l'étude, et de déterminer les caractéristiques de l'appareil de mesure à utiliser conformément aux idées nouvelles.

LE MECASCOPE

par M. VASSILLIÈRE-ARLHAC

Ingénieur aux Ateliers Carpentier.

Cet appareil est destiné à ausculter les bruits anormaux dans des mécanismes en mouvement.

Un grand nombre d'appareils ont déjà été utilisés pour ce genre de recherches, en particulier dans l'industrie automobile où ceci présente une importance considérable dans la mise au point des moteurs et ponts arrière.

Généralement les instruments dont on se sert sont basés sur l'utilisation d'un microphone qui présente le défaut de collecter tous les bruits environnants, puis les observations sont entachées par l'erreur propre de l'observateur : audition plus ou moins bonne, plus ou moins influencée par le milieu environnant.

Il est ensuite nécessaire de former ceux qui ont à utiliser ces appareils et cette formation est assez longue, puis on est obligé de s'en remettre aux observateurs sans aucun moyen de contrôle dans le temps.

Dans ces recherches en particulier, un appareil permettant l'enregistrement, présente un intérêt remarquable.

Le nouvel appareil réalisé par MM. VATINET et DURAND, présente deux principaux avantages :

a) Il n'enregistre que les vibrations de l'organe que l'on veut étudier ; *b*) il permet l'enregistrement sur papier soit au moyen d'un style encreur, soit sur bandes enfumées.

Il comporte essentiellement un système électromagnétique composé de deux parties : la première reçoit aussi intégralement que possible les vibrations à étudier, la seconde, suspendue dans une matière inerte et par conséquent non influencée directement par les vibrations, comporte un bobinage et l'on enregistre ainsi les petits déplacements relatifs engendrés par induction, de la première partie sur la seconde.

---

(1) Communication faite à la séance du 5 mars 1930 de la 6e Section de la Société Française des Electriciens sous la présidence de M. Cellerier.

Les courants de fréquence audible ainsi produits sont amplifiés, puis peuvent être perçus au téléphone ; il est évidemment beaucoup plus intéressant de remplacer le téléphone par un appareil de mesure indicateur ou enregistreur.

Dans le second cas il devient possible de suivre l'évolution d'une fabrication ou d'une mise au point dans le temps, par comparaison des diagrammes obtenus.

L'appareil mécascope proprement dit comporte à sa partie inférieure une pointe d'auscultation qui est de différentes longueurs suivant les mesures et recherches que l'on a à effectuer.

L'ensemble constitue un appareil intégrateur ayant une fréquence propre qui, dans les applications industrielles courantes n'a pas d'influence sur les observations.

Des essais oscillographiques effectués au laboratoire des Ateliers J. CARPENTIER ont permis de déterminer que la valeur de cette fréquence est d'environ 500 périodes par seconde.

Dans l'industrie automobile, par exemple, la fréquence des vibrations observées est de 70 à 80 périodes par seconde.

Il est évidemment possible en diminuant la sensibilité du système de réaliser un appareil à fréquence propre beaucoup plus élevée, qui permettrait l'auscultation des nouveaux moteurs d'aviation du type « Jupiter », par exemple.

Applications. — Les premiers essais ont été entrepris aux Chemins de Fer de Paris à Orléans, pour l'étude de la réaction des caténaires sur les pantographes des automotrices. A cet effet, un fourgon spécial avait été aménagé et à l'heure actuelle le fourgon d'essai comporte les perfectionnements les plus intéressants tels qu'un enregistreur Carpentier à grande vitesse de déroulement.

Les essais effectués à différentes vitesses de l'automotrice ont permis de déterminer et de recouper très exactement les chocs les plus violents présentés par les aiguillages, un certain nombre de transversaux, etc...

Il a été également observé que la pression exercée par les pantographes sur les lignes caténaires est enregistrée par un déplacement de la ligne de zéro.

Le mécascope permet aussi d'étudier les réactions qui se produisent entre le matériel roulant et la voie ; entre les frotteurs et le 3e rail.

Dans l'industrie automobile, il joue un rôle très important.

Des essais ont été effectués il y a 3 ans sur des moteurs d'automobiles et d'aviation.

Ces essais ont été repris et suivis d'une façon très complète aux Automobiles Delage sous la direction compétente de M. Pierre Delage et de M. Charles.

Il en est résulté, après de très nombreuses vérifications qui ont duré plus de 6 mois, que l'essai au mécascope est parfaitement confirmé par l'essai sur route et ne rend plus ce dernier nécessaire dans la fabrication de série.

Dans un autre ordre d'idées, des essais de ponts arrière ont été entrepris avec mécascope enregistreur au laboratoire des Usines Citroën.

Ceci a permis d'obtenir des résultats particulièrement intéressants et en définitive de réaliser en série des ponts arrière parfaitement silencieux.

Il est également possible de contrôler des engrenages, des roulements à billes, des systèmes de graissage, etc...

Nous signalerons, enfin, pour terminer, l'utilisation faite de l'appareil Vatinet-Durand pour le contrôle d'un démultiplicateur de turbo-alternateur.

Les essais effectués avec enregistreur ont permis de déterminer l'existence d'un centre de vibrations au point d'engrènement et par conséquent d'y remédier.

On peut donc contrôler si les dents de pignons d'un enregistreur de vitesses glissent ou roulent les unes sur les autres et si la lubrification des organes est bien effectuée.

Il y a un moyen de contrôler d'une façon permanente le fonctionnement des turbo-alternateurs : un ou plusieurs mécascopes fixés à demeure et reliés à des appareils enregistreurs permettent de se rendre compte si des vibrations anormales viennent à se produire, d'où possibilité d'y remédier en temps voulu, tandis qu'à l'heure actuelle il est souvent trop tard.

Des essais quantitatifs sont actuellement en cours au laboratoire des Ateliers J. Carpentier, avec emploi d'un oscillographe portatif de M. Blondel, modèle 1930. Ces essais sont de longue haleine étant donné la complexité des études entreprises et nous reviendrons ultérieurement sur la question.

Cette communication a donné lieu aux observations suivantes, lors de la séance du 5 mars 1930 :

M. Parodi indique que, d'après son mode de construction, le mécascope doit fournir des indications proportionnelles à « l'intensité

efficace » de la vibration complexe considérée, jouant ainsi au point de vue des oscillations mécaniques, le même rôle que l'ampèremètre thermique pour les courants alternatifs. Pour que cette transformation de vibrations mécaniques en courants alternatifs se fasse sans déformation excessive, il faut que la fréquence propre de vibration du mécascope soit d'un autre ordre de grandeur que celle des vibrations mécaniques étudiées. La fréquence propre de 500 p : s pouvant être portée à 1 000 p : s que M. Vassillière a trouvée pour les appareils actuellement construits, paraît assez grande pour que la sensibilité du mécascope puisse être considérée comme à peu près constante pour les groupes de vibrations mécaniques habituellement étudiés. Ce point devrait cependant être vérifié : l'appareil d'auscultation électrique avec enregistrement, après amplification, que constitue le mécascope doit bien donner des indications analogues à celle que peut fournir une auscultation ordinaire, c'est-à-dire auditive, si on admet que l'amplitude de l'onde sonore émise par un système vibrant est proportionnelle à l'accélération de ce système.

Le mécascope diffère essentiellement d'un appareil à résonance comportant un dispositif réglable d'accord ; s'il ne permet pas d'analyser les vibrations, il donne au moins une mesure de l'énergie du système vibrant dont il importe de déterminer expérimentalement la précision.

M. Vassilière. — Des essais sont actuellement en cours au laboratoire des Ateliers J. Carpentier, pour déterminer la précision des enregistrements du mécascope au point de vue expérimental.

Ces essais sont effectués à l'oscillographe portatif de M. Blondel.

Il y a lieu toutefois de noter que l'appareil actuellement présenté est un appareil d'auscultation ainsi que son nom l'indique et qu'il ne s'agit pas encore d'un appareil de mesure.

Dès à présent et sous sa forme actuelle, les résultats obtenus sont déjà extrêmement précieux pour un très grand nombre de recherches puisqu'en particulier dans l'industrie automobile, les essais au mécascope remplacent parfaitement les essais sur route.

M. Cellerier. — Le mécascope est un instrument de confection relativement simple; il est peu encombrant et il est pratique. Toutefois, il serait désirable que fussent confirmés, par des expériences comparatives avec d'autres appareils, les résultats qui ont été présentés.

En principe, le mécascope doit fournir, par enregistrement, la re-

présentation des déplacements complexes que subit un point d'une partie de machine soumise à des vibrations plus ou moins intenses et rapides.

Il est indispensable, à cet effet, que la tête de la tige du mécascope reste en contact permanent avec cette partie de la machine et que, par conséquent, cette tige ne subisse pas, en raison de sa masse, de régimes parasitaires dus au « lancer » produit par chaque pulsation. A l'appui de cette observation, il faut constater que certains des graphiques enregistrés présentent nettement l'allure des enregistrements avec « lancer ».

Cette dernière condition, que j'ai étudiée autrefois dans les « Erreurs d'inscription des leviers enregistreurs », dans le cas d'un choc unique, implique des études préalables et difficiles à conduire lorsqu'il y a chocs successifs déterminant des accélérations pouvant parfois être considérables, comme c'est le cas pour certaines applications du mécascope, cas différent de celui, par exemple, des sismographes.

Je rappelle à ce sujet qu'en 1908, MM. Boyer-Guillon et Auclair avaient mis au point, au Laboratoire d'Essais du Conservatoire, un accéléromètre qui a permis d'effectuer de très nombreuses études sur des accélérations produites par les ébranlements des véhicules, en particulier des voitures automobiles. Il s'agissait alors d'un accéléromètre *à maxima*, c'est-à-dire permettant uniquement de déterminer l'accélération maxima des divers mouvements complexes auquel donnait lieu un choc. On avait été conduit à sacrifier la continuité des mesures des phénomènes vibratoires résultant du choc, parce que les appareils existant alors, tels que les vibromètres, les pendules d'Esdouits, étaient impuissants à fournir les indications recherchées sur un moteur ou sur un organe d'automobile, les premiers à cause de l'étendue du déplacement du châssis, les seconds à cause de la rapidité des variations de l'accélération du moteur ou du châssis.

Par la suite certains progrès ont été réalisés dans ce genre d'appareils, notamment par les Compagnies des chemins de fer P. L. M. et P. O., pour l'étude des voies et du matériel roulant mais, à ma connaissance, on n'obtient pas encore le graphique absolu des phénomènes, mais seulement des indications ou une localisation de certains d'entre eux.

Sous la réserve d'un contrôle de sa précision d'enregistrement, le mécascope paraît devoir fournir de très utiles renseignements sur « l'ensemble » du phénomène complexe des vibrations et rendre de très grands services dans les industries de constructions mécaniques et électriques.

M. Vassilière. — Les graphiques présentés sont les premiers graphiques obtenus au cours d'essais effectués sur le P. O.

Il a été facile depuis de remédier à l'effet de « lancer », en agissant sur l'appareil enregistreur.

A l'heure actuelle les enregistrements effectués sur le P. O. en particulier et à différentes vitesses de l'automotrice sont recoupés très exactement et confirment les observations faites au sujet des chocs de la caténaire sur le pantographe.

Il est possible de déterminer très exactement sur ces graphiques que les chocs se produisent toujours aux mêmes distances kilométriques.

L'effet de « lancer » n'influence donc plus les observations.

Jusqu'ici l'appareil n'est intéressant qu'en tant qu'auscultateur et non comme appareil de mesure.

Nous effectuons des essais pour étudier la possibilité dans certains cas spéciaux de l'utiliser comme appareil de mesure, mais ceci n'offre pas d'intérêt immédiat au point de vue industriel, l'appareil auscultateur permettant dès maintenant d'étudier les phénomènes les plus intéressants tels que : moteurs en mouvement, engrenages, ponts arrière, réaction de caténaires, réaction du matériel roulant sur la voie, etc...

LA RÉALISATION DE L'UNITÉ *r* INTERNATIONALE ET L'ÉTALONNAGE ABSOLU DES DOSIMÈTRES RADIOLOGIQUES [1].

par MM. A. Dauvillier, A. Laborde et J. Saget.

Les décisions du Congrès International de Radiologie de Stockholm (juillet 1928) ayant posé le problème de la réalisation précise de l'unité *r* internationale, nous en avons cherché une solution pratique en effectuant un nouvel étalonnage du dosimètre à lecture directe décrit en 1923 par l'un de nous (A. Dauvillier : R.G.E. t. 14 p. 887-902, décembre 1923).

Nous avons utilisé à cet effet un générateur à tension constante de 250 kV fonctionnant en auto-régulation et alimentant un tube Coolidge immergé dans l'huile. La tension appliquée au tube était mesurée par un éclateur à sphères avec les précautions d'usage et repérée sur un voltmètre électrostatique Abraham-Villard. Elle a varié entre 100 et 220 kV. La chambre d'ionisation à air est la même que celle décrite lors des étalonnages précédents, mais le courant d'ionisation a été mesuré par deux méthodes distinctes ; une méthode électrométrique de zéro, d'après le montage de MM. Moulin et Lattès, et une méthode galvanométrique. La première, plus sensible que la seconde, a permis des mesures précises avec une filtration dans le cuivre atteignant jusqu'à 7 mm d'épaisseur. Il paraît indispensable, pour effectuer des mesures électrométriques correctes, d'utiliser une méthode de zéro à l'exclusion des méthodes idiostatiques de charge ou de perte de charge pour prévenir toute déformation du champ électrique dans la chambre étalon. Les divergences observées par plusieurs auteurs étrangers dans leurs comparaisons de l'unité électrostatique peuvent être attribuées à cette cause d'erreur. Les méthodes électrométriques de zéro et galvanométrique se sont montrées d'accord dans la limite des erreurs de lecture.

La méthode d'étalonnage a consisté à relever les courbes d'absorp-

(1) Communication présentée par M. Dauvillier dans la séance du 7 mai 1930 de la 6e Section.

tion dans le cuivre de rayonnements produits sous diverses tensions, successivement avec la chambre étalon et l'explorateur dosimétrique à étalonner. Celui ci était placé dans le plan du diaphragme d'entrée. Le volume d'air utilisé pour la mesure est celui d'un cylindre admettant pour section celle du diaphragme et pour longueur celle de l'électrode collectrice médiane. Divers contrôles doivent être effectués : saturation, absorption complète du rayonnement corpusculaire, neutralisation du rayonnement secondaire des filtres, correction de la densité de l'air, etc. Il est ainsi possible de relever, pour chaque tension utilisée et en fonction de l'épaisseur du filtre, une courbe exprimant le nombre de *Röntgen* par seconde, correspondant au courant unité (1 micro-ampère) lu sur le dosimètre. Les courbes divergent d'autant plus que la longueur d'onde effective est plus courte, par suite de plusieurs facteurs dont l'ionisation par dispersion de l'air est le plus important. Pour éviter au praticien toute mesure délicate de longueur d'onde effective et grâce à la normalisation introduite en radiothérapie par l'adoption de plus en plus généralisée de la tension constante et du filtre de cuivre, nous avons pu présenter les courbes d'étalonnage sous une forme particulièrement simple. La qualité du rayonnement ne dépendant plus, dans ces conditions, que de la tension et de l'épaisseur du filtre, le nombre de *Röntgen* correspondant au courant unité du dosimètre est exprimé, en fonction de la tension, par un réseau de courbes relatives aux diverses épaisseurs du filtre utilisé. Ce réseau permet une interpolation précise dans le cas peu fréquent où l'on utilise un filtre ayant une épaisseur quelconque.

Dans le cas où la tension produite par le générateur n'est plus constante, il est cependant nécessaire d'effectuer la mesure de la longueur d'onde effective par filtration dans le cuivre. Un graphique d'étalonnage permet encore, avec une approximation suffisante, de lire la dose en *Röntgen*. La longueur d'onde effective doit être mesurée au moyen du dosimètre, car on sait que c'est une donnée toute relative dépendant de la nature du détecteur utilisé. On peut enfin passer immédiatement du *Röntgen* à l'unité absolue d'énergie : l'erg absorbé par centimètre cube d'eau, sachant que 1 *Röntgen* équivaut sensiblement à 100 ergs par cm³ d'eau (exactement : 95,67) quelle que soit la qualité du rayonnement étudié.

Ces étalonnages effectués sur des dosimètres à cellule de xénon, sont naturellement applicables à n'importe quel type d'appareil (explorateur au sélénium, chambre d'ionisation à air, etc.) selon la même méthode, en conformité avec les directives de Stockholm. Aucun dosimètre ne

devrait être utilisé à l'heure actuelle, sans être accompagné d'un pareil certificat d'étalonnage prouvant : ou bien que son détecteur donne réellement des indications indépendantes de la qualité, auquel cas la courbe d'étalonnage serait rectiligne, ou bien que sa réponse varie suivant une certaine courbe alors exactement connue. Le problème de la dosimétrie précise — et nous estimons le degré de précision atteint dans ces mesures — soit au moins 5 pour cent — comme suffisant aux exigences de la pratique médicale — peut donc, lorsqu'on s'entoure des précautions indiquées ci-dessus, être considéré comme soluble et nous souhaitons que, dans un avenir prochain, ces mesures puissent être répétées et améliorées dans un établissement officiel de dosage analogue aux institutions étrangères déjà existantes.

RÉSUMÉ DES DIFFÉRENTES MÉTHODES SCIENTIFIQUES APPLIQUÉES A L'EXAMEN DES OEUVRES D'ART ET PRÉSENTÉES A LA CONFÉRENCE INTERNATIONALE DE ROME 1930

par M. J.-F. CELLERIER,

Directeur du Laboratoire de Recherches Scientifiques du Musée du Louvre (1).

I. — AVANT-PROPOS

A la suite d'une résolution de l'Institut International de Coopération Intellectuelle de la Société des Nations, une Conférence Internationale s'est réunie à Rome, du 13 au 17 octobre 1930, dans le but de s'occuper des méthodes scientifiques appliquées à l'étude et à la conservation des œuvres d'art (Peintures, Sculptures, etc...).

Environ deux cents délégués de l'Office International des Musées dont une trentaine d'experts scientifiques proprement dits, ont participé aux travaux de cette réunion. Nous ne nous occuperons ici que des résultats concernant les peintures, pour lesquels nous avons présenté à la Conférence un exposé d'ensemble, et nous nous limiterons aux parties qui intéressent plus spécialement les applications de l'Electricité.

Rappelons que tout tableau est composé de deux groupes d'éléments de natures très différentes.

Le premier comprend les *matières employées :* support (toile, bois, etc...) ; préparation du support à l'apposition des couleurs ; matières picturales (pigments, excipients) ; vernis. A ce point de vue, les études scientifiques auront pour objet de rechercher la « constitution intime » de ces matières, d'effectuer d'aussi nombreuses *constatations expérimentales* que possible sur le tableau examiné et de les comparer avec celles obtenues sur des œuvres authentiques de Maîtres auxquels peut être attribué le tableau.

(1) Communication présentée à la séance du 17 Novembre 1930 de la 6e Section de la Société Française des Electriciens, sous la présidence de M. J. F. CELLERIER.

Une telle étude méthodiquement entreprise sur des œuvres des diverses Ecoles, telles qu'il en existe dans les Musées Nationaux, fournira ainsi une documentation exceptionnelle sur les moyens pratiques employés par les Maîtres de la peinture, tels que la composition de leur « palette », etc...

Le second groupe d'éléments est figuré par la « partie artistique » de l'œuvre, celle qui caractérise « le métier », « la facture », « la personnalité », « le style » de chaque artiste.

Jusqu'ici, ce dernier domaine était réservé à l'*appréciation de l'expert artistique*, et malgré la renommée de certains d'entre eux, on doit reconnaître que leurs avis ont été parfois discutés sinon reconnus inexacts.

Il ressort des exposés présentés à Rome que les intéressants résultats obtenus dans ces dernières années, permettent d'escompter que les méthodes scientifiques, combinées à l'examen visuel artistique, apporteront de plus en plus une importante contribution à l'étude de la technique des œuvres d'art, ainsi qu'à la recherche de leur authenticité.

II. — Procédés actuels d'études scientifiques des tableaux

A. — Méthodes physico-chimiques.

a) *Analyse chimique.* — Nous citerons, pour mémoire, ce procédé classique qui exige toutefois des prélèvements plus ou moins importants de la matière pour produire des réactions fournissant, non seulement l'analyse qualitative mais aussi l'analyse quantitative.

b) *Analyse spectrale.* — Le procédé est bien connu et lorsqu'il est possible de détacher une pellicule suffisante de matière sans détériorer le tableau, on peut obtenir des renseignements précieux sur la matière au point de vue qualitatif et, également, avec une grande pratique de la méthode, au point de vue quantitatif.

c) *Détermination des indices de réfraction.* — On sait que l'indice de réfraction est une des caractéristiques de la matière étudiée. Pour les pigments qui se présentent en poudre ou en petits cristaux, il existe des méthodes classiques permettant de déterminer cet indice sur des prélèvements de petites parcelles.

B. — Examens directs aux radiations lumineuses.

Les procédés d'analyse par prélèvement de matière du tableau

exigent que ce prélèvement soit effectué sans risque de dégrader ou de compromettre l'œuvre ; dans certains cas même, il est absolument impossible de songer à effectuer une opération de ce genre.

Les méthodes scientifiques doivent tendre à ne rien modifier au tableau à examiner. Dans ce sens, les divers examens utilisant les radiations dans la gamme des rayons invisibles ou visibles, méritent une attention spéciale.

a) *Examens sous grossissement.* — A signaler, pour mémoire, la classique loupe, la jumelle à fort grossissement, le microscope ordinaire, le microscope binoculaire, etc... On peut ainsi parfois différencier certaines substances, étudier les pâtes, mettre en évidence les craquelures, des retouches, etc...

b) *Examens en lumière rasante.* — L'éclairement peut être obtenu par des rayons lumineux normaux, obliques, ou même arrivant sous une *incidence rasante*. Ce dernier procédé, préconisé par M. PÉREZ, met en relief les divers plans et contribue à trouver les caractéristiques de métier de chaque artiste.

b') *Examens micro-photographiques.* — L'étude de la matière à l'aide du microscope est généralement complétée par des clichés photographiques (macrophotographies ou microphotographies suivant le grossissement). Ce procédé d'exploration, appliqué depuis déjà de nombreuses années, en particulier pour l'étude de la constitution intime des métaux et alliages, celle des matériaux, etc... peut être également utilisé pour des matières telles que les pigments.

On peut fixer ainsi, dans un grand nombre de cas, des éléments divers des constituants (grosseur des grains, répartition, proportion, cristallisation, etc...) qui, comparés avec des produits d'origine connue, peuvent être une source féconde de renseignements sur ces constituants.

d) *Examens aux rayons X.* — L'examen des tableaux aux rayons X a pris dans ces dernières années une assez grande importance. Sans entrer dans le détail de la technique bien connue des rayons X, nous nous bornerons à rappeler ce qui peut être utile pour le sujet spécial qui nous intéresse.

On sait que le coefficient d'absorption des rayons X est d'autant plus élevé que, d'une part, le poids atomique de la matière exposée à ces rayons est lui-même plus élevé, et que, d'autre part, l'épaisseur est plus considérable.

C'est ainsi qu'une peinture blanche à base de plomb comme la céruse se distinguera, à épaisseur égale, d'une autre au carbonate de chaux.

D'autre part, si l'on se reporte, par exemple à la constitution des couleurs employées avant le XVI^e siècle, on constate qu'un certain nombre d'entre elles étaient à base de sels minéraux de métaux à poids atomiques relativement élevés. Tels sont : le minium de Sardaigne (oxyde rouge de plomb) ; le vermillon (sulfure de mercure) ; le vert azur (minerai de cobalt combiné), etc... Aujourd'hui au contraire, on utilise beaucoup les matières végétales pour la fabrication des couleurs, et celles-ci se laissent aisément traverser par les rayons X.

On conçoit donc que si des retouches ont été effectuées avec des produits de même tonalité que celles employées par l'auteur du tableau, mais de compositions chimiques différentes (par exemple, l'apposition de couleurs végétales modernes sur un tableau ancien à couleurs minérales), ces retouches auront toutes chances d'être décelées aux rayons X par l'apparition de plages claires au milieu de régions grises ou même foncées.

Des exemples sensationnels de ce genre de découvertes ont contribué à faire attribuer dans le public, aux rayons X, des possibilités illimitées de reconnaissance d'authenticité.

Il est loin d'en être ainsi. Tout d'abord, les différences d'opacité ne sont pratiquement sensibles que pour des corps d'un poids atomique relativement élevé, ce qui limite l'utilisation de ces rayons.

En outre, on peut obtenir la même opacité soit avec un corps de faible épaisseur ayant pour base le sel d'un métal d'un poids atomique élevé, soit avec un corps de grande épaisseur ayant pour base un sel d'un métal d'un poids atomique faible, soit enfin avec une combinaison de ces deux éléments.

Une première indécision apparaît déjà. Pour la lever, il faudra donc recourir à d'autres procédés fournissant, par exemple, la composition ou bien l'épaisseur.

Mais il y a plus : si l'opérateur modifie la puissance du rayonnement (par exemple rayons plus ou moins durs ou mous), il modifie par cela même l'opacité, ce qui introduit une indécision de plus, si l'on n'a pas eu préalablement le soin de bien convenir des conditions initiales de l'expérience. Notre collaborateur, M. SEVAULT, physicien, assisté de Mme DESVAREILLES, a commencé à ce sujet une étude de comparaison des coefficients de transmission suivant la puissance de rayonnement.

D'autre part, la matière de la peinture n'est pas seulement constituée de pigments. Dans le cas le plus simple, celui-ci est mélangé à de l'huile ayant également son coefficient d'absorption, variable d'ailleurs avec le temps, condition dont il faudra tenir compte lorsque cela sera possible.

Enfin, il se présente fréquemment des cas où la matière formant support est constituée par une couche relativement épaisse de céruse, donnant lieu à une opacité qui masque les nuances des peintures apposées sur ce support.

e) *Examens aux rayons ultra-violets.* — Parmi les rayons visibles ou invisibles, les rayons ultra-violets possèdent généralement au maximum la propriété de produire des phénomènes de phosphorescence et de fluorescence sur certains produits. En soumettant le tableau à l'influence de ces radiations, on peut faire apparaître des luminosités spéciales caractéristiques ou bien encore déceler des retouches et truquages, et même parfois mettre en évidence des particularités du « métier » de l'artiste.

Aujourd'hui, les examens des peintures à l'aide des rayons ultra-violets sont effectués couramment dans divers laboratoires de Musées et des résultats très intéressant ont déjà été enregistrés.

Il doit être signalé toutefois que des critiques ont été présentées concernant la détérioration des tableaux par les rayons ultra-violets utilisés au cours des expériences. A vrai dire, comme l'examen ne dure en réalité que quelques minutes et que l'énergie transmise à travers l'écran spécial est relativement faible, on n'a aucune crainte à avoir à cet égard, si l'on prend quelques précautions élémentaires.

Pour la production des rayons ultra-violets appliqués à l'étude des peintures d'art, on utilise divers modèles d'appareils en usage pour les emplois courants de ces rayons. Cependant, le filtrage doit être résolu de façon à laisser passer des radiations ultra-violettes aussi monochromatiques que possible avec une dispersion et une luminosité suffisantes. Les filtres employés s'appliquent généralement à la zone des radiations 3 500-3 400 A°, quelques-uns transmettant ainsi jusqu'à 60 % d'énergie, ce qui est déjà intéressant. Les dernières réalisations obtenues fournissent même des filtres pour les radiations voisines de 3 130 A° qui correspondent à une zone particulière d'efficacité des rayons ultra-violets pour ce genre d'opérations, et avec proportion d'énergie transmise d'environ 20 pour cent.

f) *Examens aux rayons monochromatiques.* — Chacun a pu obser-

sait qu'en regardant un paysage au travers d'un verre coloré les tonalités sont modifiées, et qu'inversement, si l'on projette sur un objet une lumière d'une couleur déterminée, on en modifie l'aspect colorimétrique.

Nous avons cherché à étendre cette observation à des recherches méthodiques des « réactions de teintes et de luminosités » produites par les diverses radiations sur les différents éléments, tant d'ordre matériel qu'artistique, susceptibles de caractériser un tableau.

Une telle étude se complique toutefois du fait que, jusqu'ici, aucune loi scientifique n'a pu faire prévoir les modifications apportées aux tonalités lumineuses par leurs mélanges réciproques. Les classifications des couleurs, à l'aide du triangle de MAXWELL, de la pyramide de LAMBERT ou du cercle de l'illustre CHEVREUL, ne constituent en effet, que des considérations empiriques qui ont d'ailleurs le mérite de rendre les plus grands services. En y ajoutant la connaissance des courbes d'absorption des diverses radiations lumineuses par les filtres colorés, nous avons pu « combiner » convenablement ceux-ci pour obtenir des résultats pratiques très intéressants et dont les transformations à vue, que l'on commence à appliquer sur certaines scènes de spectacles modernes sur ces principes, peuvent donner une idée.

Nous pensons augmenter encore ce champ d'investigations spéciales, grâce à certaines remarques qui nous ont conduit à nous inspirer de l'étude des modalités musicales, dérivant du rôle que joue la quinte dans l'art musical, pour l'étude des phénomènes lumineux, en ce qui concerne, par exemple les « teintes », les « contrastes », les « modalités vers l'ombre et la lumière », et « l'intensité ».

e) *Examens aux rayons infra-rouges.* — Quelques essais ont été tentés de l'emploi des rayons infra-rouges. L'intensité calorifique reçue après le passage est, comme pour les rayons X, fonction, d'une part de la constitution atomique de la matière, et d'autre part, de son épaisseur. Des expériences complémentaires mériteraient cependant d'être entreprises.

C. — PROCÉDÉS SPÉCIAUX D'INVESTIGATIONS.

a) *Examen en lumière polarisée.* — Le but est la détermination des constituants par l'observation de la cristallisation, des changements d'orientation des éléments, de la symétrie, etc... Pour détails, nous renvoyons aux ouvrages spéciaux qui traitent de ce procédé scientifique classique.

b) *Examens par écrans analyseurs colorés.* — Nous complétons cet examen en utilisant des filtres monochromatiques combinés. Un de nos collaborateurs, M. DROUILLARD, assistant, a réalisé à cet effet un dispositif à écrans complémentaires qui permet de trouver facilement une plage bien déterminée, dont les radiations sont absorbées par le pigment, et une autre plage laissant filtrer une lumière pour laquelle le pigment est franchement transparent et, par conséquent, donnera du gris au travers du filtre complémentaire. Un diaphragme interposé entre l'écran et le pigment et la mesure du déplacement fourniront ainsi des caractéristiques de chacun des pigments étudiés.

c) *Examens par la cellule photoélectrique.* — Nous avons pensé à utiliser la cellule photoélectrique à l'investigation scientifique des couleurs des tableaux. A cet effet, nous utilisons un photocolorimètre T. C. B. monté de manière à disposer le tableau à étudier, sans crainte de dégradation, et d'en éclairer une surface relativement limitée, soit avec de la lumière blanche, soit avec des rayons monochromatiques. On obtient ainsi par comparaison des couleurs entre elles ou, à des « étalons », des résultats fournissant, en quelque sorte, la « dose des divers tons simples qui constituent la couleur observée ».

Les premiers résultats ainsi obtenus nous ont permis de déceler, de manière très nette, des différences insaisissables à l'œil nu ou au microscope entre des tonalités de même apparence, ou encore de retrouver le même procédé de mélanges de couleurs d'une même tonalité appartenant à des tableaux différents ou à des parties différentes d'un même tableau, etc...

On comprend tout l'intérêt que présente ce genre de recherches nouvelles et très précises pour la connaissance de plus en plus approfondie de la technique de la peinture et la conservation des œuvres d'art.

III. — APPLICATIONS DES MÉTHODES SCIENTIFIQUES. — LA RECHERCHE DES CARACTÉRISTIQUES DES MATIÈRES PREMIÈRES, DES RETOUCHES, DES REPEINTS.

On emploie à cet effet, les divers procédés signalés d'analyses : chimique, spectrale et microscopique ; on complète par la détermination de l'indice de réfraction et par les examens aux diverses radiations (lumière blanche sous incidence rasante, rayons X, rayons ultra-violets, et infra-rouges, rayons monochromatiques) qui présentent l'avantage d'éviter des prélèvements.

C'est généralement le genre d'études le plus simple et aussi celui qui frappe le plus l'imagination des profanes. C'est ainsi, par exemple, que l'emploi des rayons X et des rayons ultra-violets permet parfois de constater les traces très nettes des travaux effectués antérieurement ou postérieurement à l'époque à laquelle a été confectionné le tableau étudié. Des exemples bien connus ont permis ainsi de découvrir certains faux ou truquages.

Chaque fois qu'il sera possible, des enregistrements photographiques ou microphotographiques serviront à conserver les traces des résultats obtenus.

Enfin, les procédés les plus récents d'examen en lumière polarisée par prismes colorés et l'emploi de la cellule photoélectrique complètent à ce jour, à notre connaissance, les nombreux moyens utiles pour déterminer les caractéristiques des « éléments matériels », en choisissant bien entendu, de préférence ceux qui ne sont pas susceptibles de détériorer l'œuvre par des prélèvements malencontreux.

IV. — Application des méthodes scientifiques à la recherche des caractéristiques artistiques des peintures.

Ainsi qu'il a été expliqué, on entre ici dans un domaine de recherches particulièrement délicates et l'on peut se demander si, dans ce domaine artistique, les moyens d'action de la Science peuvent être de quelque utilité. L'Art, en effet, ne saurait se traduire ni en équations, ni en formules scientifiques.

Or, l'expert artistique, aussi averti soit-il, se trouve lui-même fréquemment indécis sur l'origine d'un tableau. Enfin, avec le progrès — et cela dans toutes les branches de l'activité intellectuelle — l'homme devient de plus en plus exigeant pour le contrôle des appréciations formulées, et réclame davantage les motifs et les preuves indiscutables de ces appréciations.

Est-il possible à la Science de créer de nouveaux procédés d'investigations susceptibles par exemple « d'augmenter l'acuité visuelle » de l'expert artistique, en amplifiant les défauts ou les qualités de l'œuvre et en lui fournissant ainsi des moyens de préciser son jugement?

Bien plus, est-il possible à cette même Science de déceler certaines particularités des moyens employés par les grands Maîtres, de faciliter la compréhension de leurs œuvres, et, en général, de contribuer aux progrès de la technique de la peinture.

Les examens, dans ces cas, diffèrent sensiblement de ceux employés

pour la recherche de la constitution des matières premières. Il s'agit, en effet, de mettre en évidence par exemple : la manière dont le support a été préparé; le procédé de l'ébauche soit en pleine pâte, soit en grisaille ou autrement ; la valeur de la relativité des plans lumineux ; les subtilités de coloration des glacis ; celles des effets, etc...

La plupart des divers procédés signalés pour l'étude des matières premières peuvent être utilisés en y ajoutant ceux plus spéciaux aux phénomènes de luminosité et aux « réactions » résultant des combinaisons des diverses radiations. A ce jour, des résultats très intéressants ont été ainsi obtenus à la suite de l'étude d'un nombre relativement élevé de tableaux authentiques, *étude fournissant des constatations expérimentales* qui constituent déjà des « références » tant sur les matières que sur les particularités de « métier » de la facture de chaque artiste.

Pour la réussite de ces travaux, il serait cependant téméraire de conclure que l'expertise scientifique répond à elle seule à tous les cas de recherches. Une *collaboration étroite* entre l'Art et la Science est ici indispensable : le scientifique fait apparaître des constatations indiscutables qui ont pu échapper à l'observation visuelle de l'artiste ; celui-ci y puise la documentation nécessaire pour établir son jugement.

La Conférence Internationale de Rome, composée en grande partie d'artistes, de conservateurs ou de directeurs de musées, a suivi avec le plus vif intérêt les explications présentées par les « scientifiques ». Quelques-uns d'entre les premiers ont paru cependant rester quelque peu sceptiques, sur le concours efficace que peut apporter la science dans les questions d'art, qui étaient jusqu'ici réservées à leur « appréciation ». Il ne faut pas s'alarmer outre mesure de cet état d'esprit que l'on trouve à la base de tout progrès, progrès qui parfois peut troubler certains, retranchés dans des « procédés de métier » où eux-mêmes sont passés maîtres.

Les vrais artistes, ainsi que ceux qui ont la responsabilité du choix des œuvres et des enseignements que l'on peut tirer pour la connaissance approfondie de la technique picturale, ont sanctionné, par leur approbation, l'avènement d'une collaboration qu'il faut espérer féconde, de l'Art et de la Science.

LA MESURE ÉLECTROMÉTRIQUE DU *p*H ET SES APPLICATIONS (1)

par M. Vassillière-Arlhac,

Nous savons qu'une substance électrolysable en solution dans l'eau, se dissocie partiellement en ions électriquement chargés positivement et négativement.

Dans le cas d'un acide monovalent, la dissociation peut se représenter par l'équation :

$$HA \rightleftharpoons H^{+} + A^{-}.$$

HA est le symbole de l'acide, H celui de l'atome d'hydrogène, A celui du radical de l'acide.

Et pour une base monovalente par l'équation :

$$BOH \rightleftharpoons B^{+} + OH^{-}.$$

BOH figure une base dont B représente le métal et OH le radical hydroxyle.

Nous savons également que le phénomène de la dissociation est réversible et obéit à la loi d'action des masses.

Si nous considérons le cas d'une eau physiquement et chimiquement pure, c'est-à-dire dans laquelle la dissociation d'une molécule d'eau donne toujours un ion H et un ion OH, nous pourrons écrire, puisque cette dissociation obéit à la loi d'action des masses :

$$\frac{[H^{+}] + [OH^{-}]}{[H^{2}O]} = K$$

Comme l'eau pure est très peu dissociée, le nombre de molécules d'eau non dissociées ne varie guère par suite de la formation des ions H et OH, nous pourrons donc considérer que H^2O est constant et remplacer la constante K par une nouvelle constante qui sera le produit de H^2O par K et que nous désignerons par k.

On a alors pour l'eau la relation :

$$[H^{+}] + [OH^{-}] = k.$$

---

(1) Résumé de la communication présentée à la séance du 17 novembre 1930 de la 6e Section de la Société française des Electriciens sous la présidence de M. Cellerier.

Le facteur de dissociation de l'eau d'après des expériences entreprises dès 1893 par ARRHÉNIUS, contrôlées ensuite par un très grand nombre d'expérimentateurs dont LEWIS BRIGHTON, SÉBASTIAN, MICHAELIS a pour valeur :

$$k = 10^{-14,14}.$$

Etant donné que nous avons autant d'ions H que d'ions OH, nous pouvons écrire :

$$H^{+} = 10^{-7,07}$$

expression représentant la concentration en ions H^{+}.

Pour caractériser le degré d'acidité d'une solution, on considère la valeur de concentration de cette solution en ions hydrogène, car en pratique, la mesure de cette concentration est plus facilement réalisable.

Dans un but de simplification, SÖRENSEN a proposé de choisir la valeur absolue de la puissance de 10 dans l'expression de la valeur du coefficient de concentration et l'on a convenu de désigner cette nouvelle valeur sous le nom de *p*H.

Dans ces conditions, le *p*H d'une solution neutre : eau physiquement et chimiquement pure, est de 7,07 et l'on constate que plus une solution est acide, plus son *p*H est faible et inversement.

La mesure électrométrique du *p*H revient à déterminer une force électromotrice et une température.

En effet, l'équation de NERNST appliquée à la pile de concentration nous donne la relation :

$$\text{f.é.m.} = \frac{RT}{nF} . \log \frac{C}{C'} .$$

R est une constante universelle égale à 8,3129446 joules internationaux ;

T est la température absolue ;

n est la valeur de l'hydrogène, c'est-à-dire 1 ;

F est égal à 96 540 coulombs ;

C est la concentration en H + de la solution normale, c'est-à-dire 1 par hypothèse ;

C' est égal à (H +), concentration inconnue.

En remplaçant dans l'équation de NERNST, les lettres par leur valeur et en transformant les logarithmes népériens en logarithmes vulgaires, nous obtenons l'expression :

$$\text{f. é. m.} = 0,00019827 \text{ T} \log \frac{1}{(H^{+})}$$

or, $\log \frac{1}{(H^+)}$ n'est pas autre chose que pH, d'où finalement :

$$pH = \frac{f.é\ m}{0,00019827\ T}.$$

La mesure électrométrique du pH se ramène donc à une mesure de force électromotrice et à une mesure de température. Ce que l'on mesure est la force électromotrice de la pile de concentration réalisée.

Pour des raisons de commodité et pour obvier à un certain nombre d'inconvénients que présente l'électrode normale d'hydrogène, on remplace cette dernière par une électrode stable bien définie et de réalisation facile dont le potentiel par rapport à l'électrode normale d'hydrogène a été une fois pour toutes bien déterminé.

Il s'agit de l'électrode au calomel qui est actuellement universellement adoptée et peut être aisément montée. On utilise à l'heure actuelle 3 sortes d'électrodes au calomel : l'électrode décinormale, l'électrode normale et l'électrode saturée.

L'électrode décinormale convient particulièrement aux recherches scientifiques de précision.

L'électrode saturée, un peu moins précise, plus sensible aux variations de température, par contre d'un entretien facile, est celle qui convient dans la plupart des cas aux recherches biologiques.

Le montage d'une pile de concentration comporte dans ces conditions une électrode au calomel (électrode positive) et une électrode d'hydrogène (électrode négative).

Dans le cas d'une mesure biologique la pile de concentration pourra être constituée par une électrode saturée au calomel qui constituera notre électrode positive et une électrode d'hydrogène d'Étienne, Vérain et Bourgeaud par exemple, qui sera notre électrode négative. La liaison est simplement assurée par un bécher contenant une solution saturée de chlorure de potassium. A noter l'existence d'un potentiel de jonction qui prend naissance au contact de deux liquides différents : solution inconnue renfermée dans l'électrode d'hydrogène et chlorure de potassium saturé contenu dans le bécher.

Ce potentiel de jonction a été étudié par Nernst, qui a déterminé qu'il est dû aux vitesses inégales des ions en présence et que ces vitesses étaient de l'ordre de 10^{-4} cm par seconde. Bjerrum a indiqué un procédé très simple de double mesure qui permet de déterminer la valeur exacte du potentiel de jonction.

La détermination de la force électromotrice de la pile de concentration doit être faite avec précision et la méthode employée est la mé-

thode d'opposition de Poggendorf. Comme pile étalon, on utilise généralement un élément Weston.

L'on peut, soit réaliser un montage en éléments séparés, soit se servir d'un potentiomètre à lecture directe : le potentiomètre Docteur Vérain-Carpentier est particulièrement bien adapté aux mesures de *p*H.

Les appareils de zéro sont, soit les galvanomètres à cadre mobile Deprez-d'Arsonval, soit l'électromètre capillaire de Lippmann, soit encore l'électromètre de Lindemann.

Prenons un exemple concret de mesure et supposons que l'on ait opéré à une température de 18°C avec une électrode au calomel saturée, nous aurons :

$$pH = \frac{\text{f.é m}}{0{,}00019827\,T}.$$

Etant donnée que la force électromotrice mesurée comprend une électrode au calomel qui par rapport à l'électrode normale d'hydrogène, possède un certain potentiel, il conviendra de soustraire ce potentiel de la force électromotrice cherchée.

Des tables donnent les valeurs de ces potentiels à une température déterminée.

Dans notre cas, ce potentiel pour l'électrode au calomel saturée est de 0,2503, ce qui nous donne :

$$pH = \frac{e_x - 0.2503}{0{,}0577}.$$

ex est déterminé par la mesure.

Il existe des tables qui donnent directement les valeurs du *p*H correspondant.

En milieu acide, on utilise également, lorsque l'électrode d'hydrogène ne peut être employée par suite de réaction chimique à craindre entre l'électrode et la solution étudiée, l'électrode à quinhydrone.

Bilmann et Haken Lund envisagent trois types d'électrodes dans ce cas :

L'électrode à quinhydrone ;

L'électrode quino-quinhydrone ;

L'électrode à hydro-quinhydrone.

Les deux dernières conviennent particulièrement pour les solutions très acides

La première est plutôt utilisée en biologie.

Un certain nombre d'autres électrodes ont été également étudiées, telles que l'électrode à antimoine, à membrane de verre, etc...

Du point de vue général, la valeur du *p*H intervient dans la majorité des phénomènes qui nous entourent, non seulement en ce qui concerne directement la nature, mais également dans tout ce qui a trait à l'Industrie Chimique, aux préparations alimentaires et enfin à l'être humain lui-même.

Electrochimie. — La dissociation électrolytique du cuivre, de l'alcool éthylique, a été très complètement étudiée par Chamoz qui a déterminé la valeur optima du *p*H de la dissolution.

En nickelage, platinage, des études très complètes ont déjà été faites et ont donné suite à des communications fort intéressantes, dans le *Bulletin de la Société des Ingénieurs Civils.*

Sol, végétation. — Des essais ont été effectués par Christensen sur la détermination de l'acidité du sol. Ceci permet de déterminer si les sols examinés ont besoin de calcaires ou non.

Dans des terres sablonneuses, le *p*H varie entre 8,8 et 5,42. Dans des terres argileuses entre 8,22 et 5,28.

Sucrerie. — L'on utilise généralement pour les mesures l'électrode Aten qui ne donne pas de mousse avec les jus de betteraves et les jus de diffusion. Pour les jus de betteraves, la valeur moyenne du *p*H pour 10 cm^3, étendus à 100 cm^3, a été trouvée de 6,63.

Une étude complète sur cette question a paru dans le *Bulletin Technique du Comité Central des Fabricants de Sucre*, en janvier 1928, à la suite d'essais effectués par M. Saillard.

Laiterie. — Des essais ont été effectués par Mlle Lester sur le lait écrémé, le petit lait et le beurre, au moyen d'électrodes au quinhydrone. Pour le fromage par exemple, la mesure du *p*H donne des valeurs comprises entre 5,5 et 7,2.

Brasserie. — Une communication a été faite dès 1900 à l'Académie des Sciences par MM. Ferbach et Hubert sur la diastase protélytique du malt.

L'électrode utilisée est une électrode de platine (platinée et palladiée), plongeant dans le liquide étudié, que l'on fait trâverser par un courant d'hydrogène pur.

L'optimum de la diastase du malt est réalisé pour un *p*H d'environ 4,4. Le *p*H de la trempe oscille généralement entre 5,4 et 5,8.

Tannerie. — Il semble, d'après des essais en cours que le *p*H d'une solution optima soit de 5 environ, c'est-à-dire un milieu acide.

Boulangerie. — Des essais particulièrement intéressants ont été effectués par M. Loeb, Ingénieur-Chimiste aux Grands Moulins Vilgrain à Nancy.

D'après ses essais, une farine de bonne qualité a un *p*H de 6 environ.

Les farines impanifiables ont un *p*H de 5,60 et au-dessous.

*p*H *en biologie médicale.* — L'application à la clinique des nouveaux procédés d'examen des méthodes physico-chimiques est, sans conteste, l'un des facteurs essentiels des progrès réalisés en ces dernières années.

L'on peut considérer que dans notre corps interviennent au point de vue *p*H, trois facteurs :

le liquide sanguin ;

le liquide urinaire ;

le liquide céphalo-rachidien.

Des différentes mesures effectuées, il résulte que le *p*H d'un plasma normal, mesuré à 18°C, a pour moyenne 7,35. Persons a démontré qu'il n'y avait presque pas de différence entre le *p*H du plasma et celui du sang total.

Ce chiffre est en concordance avec celui obtenu par Michaelis, Dautrebande, puis Hasselbalch.

Physiologiquement, cette valeur du *p*H peut osciller entre 7,30 et 7,40 suivant les sujets et l'on peut admettre qu'entre ces limites il n'y a pas déséquilibre du système acide-base.

Lorsque la valeur du *p*H descend en-dessous de ces limites, nous nous trouvons en *acidose*, au contraire lorsqu'elle s'élève, nous nous trouvons en *alcalose*.

Un mécanisme régulateur d'une précision admirable intervient aussitôt que notre équilibre acido-basique est en danger.

Il est constitué par :

a) le rein qui élimine plus ou moins les phosphates acides et fabrique de l'ammoniaque capable de neutraliser une partie des acides.

b) le poumon qui élimine l'acide carbonique volatil.

c) le tube digestif qui élimine en plus ou moins grande quantité les bases.

Ce mécanisme régulateur est également aidé par certaines sub-

stances qui jouent le rôle de « *tampons* » et interviennent pour neutraliser les excès d'acides ou de bases qui viendraient à se produire.

Au point de vue pathologique, l'acidose peut être due à la présence dans le sang d'une quantité exagérée d'acide organique, c'est le cas de l'*acidose non gazeuse* comme, par exemple, l'acidose diabétique ou l'acidose créée par défaut d'élimination dans le cas des néphrites.

Elle peut également résulter d'une augmentation anormale de l'acide carbonique dans le sang, c'est le cas de *l'acidose gazeuse* provoquée, par exemple, par une respiration prolongée dans une atmosphère chargée en gaz carbonique, asphyxie à la période terminale d'une tuberculose pulmonaire ou encore asthme.

En ce qui concerne *l'alcalose*, elle peut être également, soit *non gazeuse* par absorption exagérée de bi-carbonate de soude, d'où résulte une augmentation des bi-carbonates dans le sang, soit *gazeuse* par diminution de l'acide carbonique dans le sang : cas d'une hyperventilation prolongée, anémie, intoxication par oxyde de carbone.

Dans le cas du diabète se compliquant d'acidose, la réserve alcaline se modifie généralement de suite et de 50 à 65 volumes de CO^2, sa valeur normale descend à une valeur comprise entre 40 et 50 volumes pour l'acidose légère, chute qui atteint 30 à 40, menace de coma pour descendre à 25 dans le coma.

Il est intéressant de signaler à ce propos les conclusions d'Ambard : si une chute de la réserve alcaline implique de l'acidose, inversement toute acidose, ne s'accompagne pas nécessairement d'une chute de cette réserve.

Dans les cas de néphrites, les travaux d'Henderson, Rathery, Bordet et autres signalent, avec une réserve alcaline presque normale, un degré d'acidose marqué. Dans les néphrites, surtout avec *azotémie*, la détermination du *p*H conduisant à de l'acidose a une valeur de pronostic importante.

Dans les cas d'éclampsie puerpérale, il y a généralement chute de la réserve alcaline et hypertension artérielle, la première apparaissant avant la seconde. Le régime déchloruré est donc indiqué.

Exercice physique. — Plus couramment, l'on constate dans les manifestations quotidiennes, production d'un état d'acidose après l'exercice physique.

L'acidité urinaire augmente, en effet, brusquement : la neutralisation ammoniacale est insuffisante pour réaliser complètement

l'épargne des bases, par conséquent la fatigue provoque une masse considérable d'acides non carburés, qui se dénotent immédiatement par un *p*H bas à l'analyse urinaire.

Par contre, dans le même ordre d'idées, la sensation de fatigue au réveil, sensation s'atténuant au courant de la journée et variant par conséquent en sens inverse de la fatigue physiologique, correspond à un état d'*alcalose*.

Cancer et précancer. — En ce qui concerne le cancer et le précancer, une communication a été faite récemment par les professeurs Slosse et Reding à l'Académie de Médecine.

Les nombreuses recherches effectuées jusqu'à présent ont permis de déterminer que la rapidité de croissance de la tumeur était fonction du rapport K/Ca ; l'acidité du milieu exerce toujours une action inhibitrice nette et un certain degré d'alcalinité associé à un déséquilibre ionique apparaît comme facteur permettant le déclanchement de toute division cellulaire.

Dans cette communication, les professeurs Slosse et Reding signalent avoir trouvé un *p*H sanguin moyen de 7,44 à 7,49, pour des cancéreux avant traitement ; ce pH évoluerait entre 7,42 et 7,48, pour des cancéreux opérés chirurgicalement et serait de 7,40 environ pour des cancéreux traités par radiations ou guéris. Lorsqu'il s'agit de cancéreux améliorés ou à récidive, les observations faites révèlent un *p*H moyen compris entre 7,44 et 7,47 dans le premier cas et 7,47 à 7,53 dans le second cas.

L'on peut se trouver soit devant une évolution à caractère acquis soit devant une évolution d'origine héréditaire.

Il est intéressant de mentionner à ce sujet les conclusions du Docteur Pfeiffer, au sujet des origines héréditaires du cancer.

Anxieux. — Un exemple remarquable d'alcalose se rencontre chez les anxieux (Communications des Docteurs René Cornelius et Lainel-Lavastine à la Société de Biologie).

Il y a nettement une forte hypo-acidité, souvent même une alcalinité ionique marquée des urines.

L'alcalinité ionique chez les anxieux semble s'accentuer au moment des paroxysmes.

Un autre point intéressant à signaler est l'augmentation de la quantité des acides organiques en 24 heures, dans l'urine des anxieux.

D'après les nombreux essais effectués, l'on conclut que l'alcalinité

ionique des anxieux correspond, tantôt à une alcalose sanguine très nette, tantôt à une alcalose compensée.

Une médication continue et intensive acédifiante donne de très bons résultats.

Cette même médication peut s'appliquer aux sujets présentant de la névrose d'angoisse ainsi que des états anxieux symptomatiques (goutte, alcoolisme, foie, dyspepsie). Le traitement à base d'acide phosphorique donne également des résultats remarquables (cas d'une internée de quatre ans, guérie en un mois par le Docteur Vérain).

Les épileptiques essentiels purement convulsifs ont un *p*H sanguin très élevé compris généralement entre 7,30 et 7,70 ; la moyenne de leur *p*H urinaire précédant les crises d'un temps plus ou moins long.

L'attaque d'épilepsie est suivie d'acidose ou de tendance à l'acidose, d'où asphyxie et agitation musculaire.

Action des Rayons X. — L'on constate qu'avec des irradiations de 500 R dans la région splénique, il y a variation du *p*H dans le sens de l'alcalose.

*p*H *céphalo-rachidien.* — La réaction du liquide céphalo-rachidien est plus alcaline que celle du sang, ce qui s'explique par la présence des corps globulaires. Il se prête plus facilement que le sang aux manipulations physicochimiques, toutefois le champ des investigations à parcourir est encore très étendu.

La valeur du *p*H céphalo-rachidien est comprise entre 7,45 et 7,50. Des essais précis ont été effectués par Felton, Hussey, Levinson, etc...

*p*H *bactériologique* — En bactériologie, l'influence de la réaction du milieu est depuis fort longtemps connue. La connaissance exacte du *p*H bactériologique présente le plus grand intérêt.

Il est nécessaire que le bactériologiste assure un *p*H déterminé du milieu sur lequel il veut opérer.

Toutefois, il n'est pas utile que ce *p*H corresponde au *p*H optimum des bacilles.

Les *p*H optima des principaux bacilles sont environ 7,2, il est toutefois plus élevé pour le pneumocoque : 7,8.

Le *p*H salivaire a également donné lieu à des travaux intéressants, en particulier ceux de Hulin, qui ont fait l'objet d'une communication à la semaine odontologique cette année.

Hulin a trouvé des valeurs de *p*H salivaire comprises entre 6,70 et 6,88, ce qui confirme le caractère évidemment acide de la salive.

RECHERCHES SUR LA THERMODYNAMIQUE DE L'HYSTÉRÉSIS [1]

par M. A. Guilbert

L'ensemble des recherches que nous présentons a pour objet la vérification expérimentale d'une théorie sur la thermodynamique de l'hystérésis, que nous avons exposée il y a deux ans dans la *Revue générale de l'Electricité* [2].

Cette théorie peut se résumer ainsi :

Soient d'une part, un circuit magnétique dont le fer présente de l'hystérésis et d'autre part, la source fournissant le courant d'excitation. Il est facile de montrer, qu'au point de vue des échanges d'énergie entre le circuit magnétique et la source, on peut supposer le fer parfaitement doux, à la condition de placer sur le circuit magnétique une seconde excitation indépendante de la première dont on choisit convenablement la valeur à chaque instant. On obtient ainsi un système équivalent au premier.

Il est permis de supposer que, dans la réalité, la deuxième excitation existe sous la forme d'un champ interne $\mathcal{H}_i$ [3], cause de l'hystérésis, qui se compose avec le champ extérieur $\mathcal{H}_e$ pour donner le champ *résultant* $\mathcal{H}$. La caractéristique d'un fer doué d'hystérésis, construite en fonction de ce champ $\mathcal{H}$, passe par l'origine comme celle d'un fer parfaitement doux et reste la même quel que soit le cycle suivi par le champ $\mathcal{H}_e$. En particulier, elle présente le caractère de *réversibilité* sur lequel nous insistons tout particulièrement.

Il résulte que l'énergie emmagasinée sous forme *électromagnétique* dans un certain état ne dépend que de la valeur du flux pour cet état ou, ce qui est équivalent, de la valeur de $\mathcal{H}$.

---

(1) Communication présentée à la séance de la 6e Section de la Société française des Electriciens, le 3 décembre 1930.

(2) André Guilbert. Une hypothèse sur la nature de l'hystérésis R.G.E. T. XXV, no 1, page 7.

(3) ou *intérieur* pour le différentier du champ interne introduit dans la théorie du magnétisme de M. Pierre Weiss.

Le travail d'établissement du champ interne (1) fourni par la source correspond à une chaleur d'aimantation, seulement en partie réversible.

Au point de vue quantitatif voici comment, le long d'un élément quelconque de cycle d'hystérésis, cette théorie prévoit le partage de l'énergie relative à la source en énergie électromagnétique d'une part et énergie calorifique d'autre part.

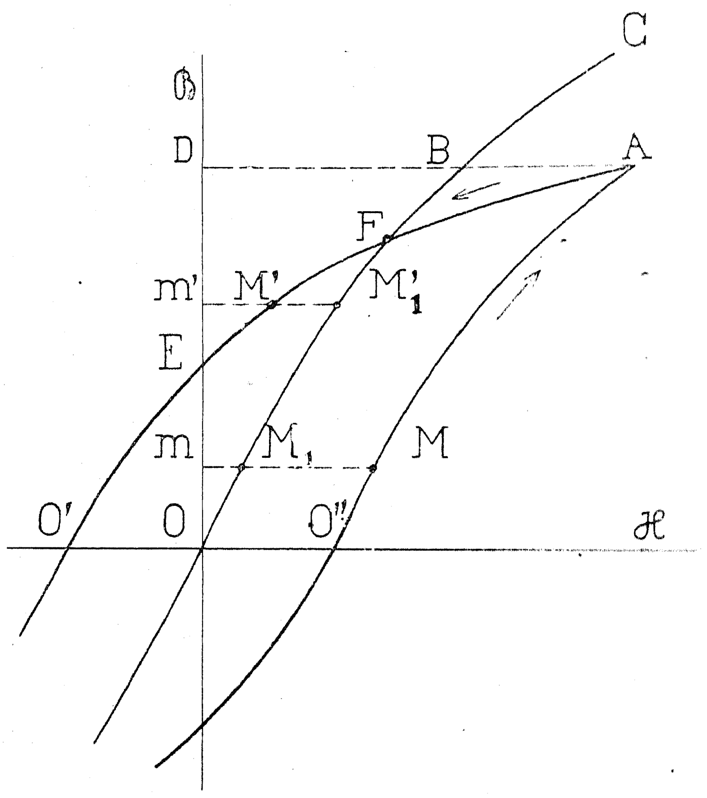


Fig. 1.

Soit O″A (fig. 1) la branche montante d'un cycle d'hystérésis. Considérons un point M mobile sur cette branche. Pour aller du point M, pris à l'endroit où il est figuré, au point A, la source fournit l'énergie représentée — à une échelle convenable (2) — par l'aire balayée par Mm, c'est-à-dire MADmM.

(1) $\frac{1}{4\pi}\int \mathcal{H}_i d\mathcal{B}$ par centimètre cube, $\mathcal{B}$ étant l'induction.

(2) Les aires pour les courbes en $\mathcal{B}$ et $\mathcal{H}$ représentent au facteur $\frac{1}{4\pi}$ près des énergies par centimètre cube.

Soit OC la caractéristique du fer en fonction du champ *résultant*. L'air balayée par M_1m, autrement dit M_1BDmM_1, représente l'augmentation d'énergie électromagnétique du système, et l'aire balayée par MM_1, c'est-à-dire $MABM_1M$, l'élévation de température du fer (1). L'énergie électromagnétique totale emmagasinée dans l'état correspondant au point A est représentée par l'aire OBDO ; en vertu de l'hypothèse que nous avons faite relativement à la caractéristique OC, son expression est une différentielle totale.

Le segment MM_1 pris dans le sens de M vers M_1 représente le champ interne en ce point (2).

Considérons maintenant, une branche descendante issue de A et un point M′ mobile sur cette branche, le point A étant par conséquent le sommet d'un cycle, symétrique ou non. Jusqu'au point E, la source reçoit du système l'énergie représentée par l'aire balayée par $M'm'$ puis, à son tour, fournit de l'énergie au système à partir de ce point. L'énergie électromagnétique diminue d'une quantité représentée par l'aire balayée par M'_1m' pour s'annuler au point O′ où le flux est nul et augmenter de nouveau à partir de ce point. Le fer se refroidit d'une quantité proportionnelle à l'aire balayée par $M'M'_1$ jusqu'au point F, à partir duquel il s'échauffe à nouveau. Entre les points A et F apparaît nettement la réversibilité partielle de la chaleur d'aimantation, la quantité de chaleur représentée par l'aire ABFA étant empruntée à la chaleur emmagasinée lors du parcours de la branche montante. Il faut remarquer à ce propos que la courbe OC est une courbe isotherme (3).

La vérification de cette théorie repose entièrement sur la vérification de l'invariabilité et de la réversibilité de la caractéristique OC, c'est donc vers ce point qu'ont tendu toutes nos recherches. Nous ne croyons pas avoir diminué l'universalité de la démonstration en réduisant ces recherches à des cycles d'hystérésis symétriques par rapport à l'origine et à la courbe de première aimantation qui se confond sensiblement avec le lieu des sommets des cycles.

---

(1) Au facteur $\frac{A}{4\pi c\delta}$ près, A étant le coefficient d'équivalence, c la chaleur spécifique du fer, δ sa densité.

(2) Dans le cas équivalent du système à deux excitations, l'énergie représentée par l'aire $MABM_1M$ balayée par ce segment est restituée à la source alimentant la seconde excitation. C'est à ce sujet que nous avons admis comme une réalité l'énergie relative entre aimant et courants sous la forme même de la chaleur d'aimantation à laquelle nous faisons allusion. (Voir une hypothèse sur la nature de l'hystérésis, *loc. cit.* page 13).

(3) En l'absence de tout phénomène magnétocalorique.

La détermination de la caractéristique OC n'est possible qu'à partir de mesures calorimétriques déterminant la loi des dégagements et absorptions de chaleur le long du cycle. On peut toujours traduire cette loi en construisant pour chaque branche du cycle une courbe OC, telle que les aires balayées par le segment MM_1 (fig. 1), représentent les quantités de chaleur mises en jeu le long de la branche correspondante. La vérification de la théorie reposera donc sur la coïncidence des courbes OC obtenues avec les branches montantes et descendantes (1) quelle que soit l'induction maxima.

En réalité le problème est encore beaucoup plus complexe, du fait de l'existence du phénomène magnétocalorique (2) qui se superpose à celui dont nous donnons la théorie. Le phénomène magnétocalorique consiste en une variation de température du fer corrélative à une variation de champ, par suite de l'influence de la température sur la forme des cycles ; il en résulte nécessairement une déformation des caractéristiques OC obtenues. Il nous a donc été nécessaire, afin de l'éliminer, de faire une étude de ce phénomène pour pouvoir considérer les propriétés du fer comme indépendantes de la température.

C'est dans ces conditions que nous avons obtenu, aux erreurs d'expériences près, l'invariabilité et la réversibilité de la caractéristique OC, vérifiant ainsi les principes fondamentaux de notre théorie. Le seul point qui n'ait été vérifié est la prévision que nous avions donnée de la courbe OC ; nous avions supposé que cette courbe était le lieu des sommets des cycles alors qu'en réalité elle est beaucoup plus rapprochée de l'axe des inductions. Il s'en suit que le lieu des sommets des cycles est fortement exothermique au lieu d'être isotherme comme nous l'avions pensé.

*
* *

Les expériences et les mesures calorimétriques que nous avons exécutées en vue de déterminer la loi des dégagements de chaleur le long du cycle d'hystérésis ne sont pas les premières. Nous citerons comme antériorités celle d'Adelsberger (3) en Allemagne et celles de F. Wood-

(1) Nous appellerons branche montante l'élément de courbe compris entre O″ et A et branche descendante celui compris entre A et O′. La branche descendante devient montante à partir du point O′, de même que la branche montante était descendante avant O″.

(2) Ou effet Weiss Piccard.

(3) ADELSBERGER : *Ann. der Physik*, 83, pages 184-213 (1927).

bridge Constant [1] en Amérique. Ces expériences se rapprochent des nôtres dans la mise en œuvre, mais aboutissent à des conclusions qui nous paraissent peu logiques. Elles arrivent, en effet, à montrer que l'énergie électromagnétique ne croît pas constamment le long de la branche montante ; autrement dit, que la courbe représentative de cette énergie, en fonction du champ, présente un point d'inflexion avec maximum et minimum, ce qui paraît peu vraisemblable.

Le choix de la matière à étudier est assez délicat. Il est évident qu'il est nécessaire de prendre un alliage à fortes pertes hystérétiques, c'est-à-dire un acier à aimant, mais les aciers de cette nature ont tous un effet magnétocalorique prononcé. Il ne faut pas choisir l'acier présentant et le cycle le plus grand de surface et le plus grand magnétisme rémanent, mais celui possédant le phénomène magnétocalorique le moins accusé. Nous avons recherché parmi plusieurs échantillons d'acier à aimant celui qui donnait la chaleur la plus notable le long de la branche descendante entre les points A et E (fig. 1), ce qui est l'indice, comme nous le verrons par la suite, du plus faible effet magnétocalorique.

Entre divers aciers à aimant, nous avons fixé notre choix sur un échantillon d'acier au cobalt à haute teneur, des forges d'Allevard [2] qui présente par ailleurs l'avantage d'avoir un traînage magnétique très faible. La forme adoptée est celle des échantillons de perméamètres c'est-à-dire celle d'un barreau parallélépipédique de 20 cm de long et de base carrée de 1 cm de côté [3].

Ce barreau, placé dans un solénoïde de 35 cm de long, comportant 1 745 spires en fil de 18/10 mm, constitue un circuit magnétique ouvert. M. W. Constant a opéré sur un tore, ce qui semble, au premier abord, plus rationnel. On peut objecter, en effet, à notre adresse, que l'induction n'est pas la même sur toute la longueur du barreau, surtout au voisinage des extrémités — mais cette objection disparaît en partie si l'on ne fait les mesures de température et d'induction que dans la région centrale et que, en raison du champ démagnétisant, le point E (fig. 1) ne correspond pas rigoureusement au magnétisme rémanent. Par contre, notre dispositif présente l'avantage de pouvoir

(1) F. Woodbridge Constant : Distribution de l'émission calorifique dans le cycle d'hystérésis magnétique. *Physical Review*, 2e série, volume 32, n° 3, pages 486-493 (sept. 1928). (Extrait d'une thèse de doctorat de philosophie présentée à l'Université de Yale.)

(2) Cet échantillon nous a été offert gracieusement par la Société des Hauts-Fourneaux et Forges d'Allevard.

(3) Le poids de l'échantillon est de 179,5g, ce qui correspond à une densité de 8,97.

changer assez facilement l'échantillon à étudier, opération qui avec le tore nécessite, à chaque fois, la construction d'un nouvel appareil.

Le problème qui se pose est de mesurer les variations de température du barreau consécutives aux variations de champs. L'enroulement magnétisant, à l'intérieur duquel est placé le barreau, dégage passablement de chaleur ; il s'échauffe de plus d'un degré pendant la pre-

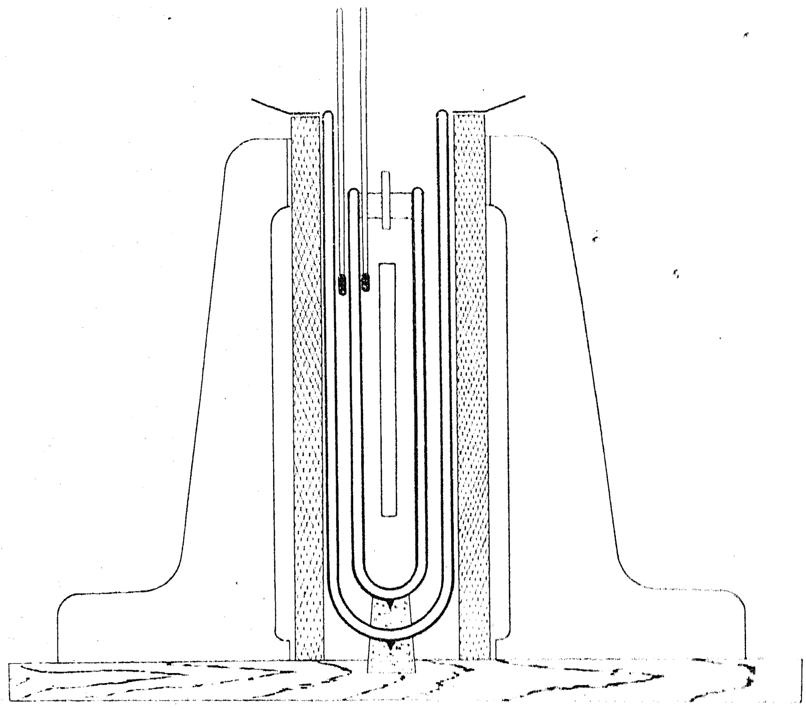


Fig 2.

mière minute de mise sous tension, avec un courant de 4 à 5 A ; d'autre part, il est nécessaire de pouvoir mesurer des variations de température inférieures au $\frac{1}{10000}$ de degré. Ceci résume toutes les difficultés rencontrées dans la résolution de ce problème. La solution se divise en deux : l'isolement calorifique du fer et le système thermométrique convenable.

L'isolement calorifique est réalisé de la façon suivante. Une chambre calorimétrique parfaitement close est constituée par un premier vase de Dewar en verre *Pyrex*, de forme très allongée, placé à l'intérieur d'un second vase semblable de plus grand diamètre afin de ménager entre les deux un espace annulaire de 8 à 9 mm ; le tout s'ajustant à l'intérieur de l'enroulement magnétisant (fig. 2). Nous avions

prévu un espace annulaire avec l'intention de le remplir de glace pilée, qui constitue un des meilleurs calorifuges par absorption isotherme de la chaleur. Cette précaution est superflue, étant donné qu'il n'est possible de faire successivement que quelques mesures ; il suffit donc que la chambre calorimétrique soit à l'abri du rayonnement de la bobine pendant une à deux minutes seulement. Dans ces conditions, la glace est inutile et nous nous sommes contenté de garnir de laine mèche l'espace annulaire, ce qui évite d'avoir en permanence des traces d'humidité [1]. Il s'écoule environ une minute, avec des excitations de 5 à 6 A, avant que l'on puisse déceler les premières traces d'une traversée de chaleur. Il est donc possible de travailler en toute sécurité pendant ce temps et même un peu au delà. Il faut ensuite cinq à six heures pour que l'équilibre de température soit de nouveau atteint et que l'on puisse recommencer une nouvelle série de mesures.

Cette disposition rend possible la marche à diverses températures ; l'espace annulaire permet alors une égalisation plus rapide de la température de la chambre calorimétrique avec celle de l'air ambiant. A cette fin, tout l'ensemble de l'appareil se trouve placé dans un meuble, à double paroi calorifugée, aménagé en glacière et pouvant être chauffé par des lampes à filaments de carbone.

Des thermomètres indiquent les températures de la chambre calorimétrique, de l'espace annulaire, de l'enroulement et de l'air ambiant et permettent de suivre la diffusion à longue échéance de la chaleur.

La recherche d'un système thermométrique capable de mesurer des variations de température jusqu'au $\frac{1}{10000}$ de degré est très délicate. Il ne faut pas songer au thermomètre à mercure, dont la sensibilité extrême atteint difficilement le $\frac{1}{1000}$ de degré et qui présente de plus une grande inertie calorifique. Nous avons d'abord songé au thermomètre à gaz, le réservoir étant constitué par la chambre calorimétrique, et nous nous sommes finalement décidé, sur les conseils de M. Fabry, à choisir les couples thermoélectriques dont l'usage se ré-

---

(1) La solution adoptée par M. W. Constant consiste à immerger dans l'eau bouillante tout l'appareil, c'est-à-dire le tore enfermé dans une boîte également en forme de tore, autour de laquelle est enroulé le circuit inducteur. Le courant est maintenu constant dans ce circuit divisé en sept sections et la variation des ampères-tours est obtenue par inversion du courant successivement dans chacune des sept sections. M. Adelsberger a utilisé un appareil assez voisin du nôtre, mais ne comportant qu'un vase de Dewar, l'isolement calorifique étant parachevé par une chemise d'eau et par une immersion du fer dans le pétrole.

pand de plus en plus en microthermométrie [1]. On peut leur reprocher leur manque de proportionnalité, mais cela est sans importance sur une étendue de quelques millièmes de degré.

Les couples les plus sensibles sont ceux à partir du bismuth et du constantan. Le bismuth n'est pas utilisable ici à cause de sa fragilité; reste le constantan dont les couples les plus élevés sont avec le fer, le cuivre et le manganin. Le fer est à rejeter comme magnétique, et le manganin comme trop résistant, ainsi nous avons été amené naturellement à prendre le couple cuivre-constantan. Sa force électromotrice est de l'ordre de 40 microvolts par degré. Le constantan que l'on trouve dans le commerce donne, en général, une force électromotrice bien inférieure. Nous nous sommes adressé à la Compagnie des Compteurs qui nous a fourni une qualité de cet alliage donnant les couples les plus élevés.

Il est nécessaire, pour augmenter la sensibilité du système thermométrique, de mettre plusieurs couples en série. Nous avons formé une chaîne de 20 soudures, composée de 20 brins isolés de $\frac{20}{100}$ de 55 mm de long, alternativement cuivre et constantan. Les extrémités des brins, préalablement dénudées, grattées et torsadées sont soudées à l'étain, la présence d'un métal intermédiaire pour la soudure ne modifiant pas les constantes des couples. La résistance des soudures est très variable suivant la façon dont elles sont faites, il est donc nécessaire de les soigner particulièrement pour diminuer à l'extrême la résistance de la chaîne. Le fil de cuivre, plus mou que le fil de constantan, est enroulé en hélice jointive sur ce dernier et non simplement torsadé avec lui. La soudure est faite par trempage dans un bain d'étain après décapage à l'acide et non à la résine, ce procédé de soudure réussissant difficilement avec le constantan. Dans ces conditions, la résistance d'une soudure est inférieure au $\frac{1}{10}$ d'ohm, et celle de la chaîne est de l'ordre de 3 ohms.

Les soudures impaires seront placées sur l'échantillon et appelées soudures de mesures ; les autres, maintenues à température constante, les soudures repères. Etant donnée la sensibilité de ce système, il est nécessaire que les soudures de mesures et les soudures repères soient initialement à des températures ne différant au plus que de quelques millièmes de degré ; ce résultat est obtenu très simplement en mettant les deux séries de soudures dans la chambre calorimétrique.

(1) Bien que nous ayons utilisé ici la même solution que MM. Abelsberger et W. Constant, il faut remarquer que tout le projet de notre appareil date de 1926.

Le barreau est recouvert d'une feuille de papier mince, collée à la gomme-laque : en son milieu, se trouve placée une bobine sonde servant à la mesure de l'induction. De chaque côté de cette bobine, sont disposés cinq couples comme le montre la figure 3. Les soudures de mesures sont immobilisées, d'abord avec un fil de soie, puis collées à la gomme-laque. Les brins allant aux soudures repères, ainsi que les extrémités *a* et *b*, sont soigneusement torsadés et les aires résiduelles au voisinage du barreau sont compensées en disposant convenablement le fil de retour *b*, afin d'éliminer toute élongation balistique du galvanomètre au moment d'une variation de flux. Cette opération, d'une grosse importance, étant donnée la très faible résistance du circuit de mesure des températures, est fort délicate, et ce n'est qu'après l'avoir

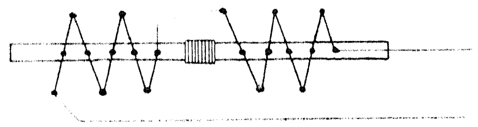


Fig. 3.

faite un certain nombre de fois que nous sommes arrivé à une neutralisation complète. Il est facile de s'assurer de cette neutralisation en faisant des variations de flux symétriques par rapport à l'origine du cycle ; les déviations accusées doivent être les mêmes et de même sens.

Pour isoler au point de vue calorifique les soudures de mesure des soudures repères, nous avions simplement, au début, enroulé de la laine mèche blanche autour du barreau en laissant passer, chaque fois qu'ils se présentaient, les soudures repères jusqu'à constituer une sorte de cocon ayant le diamètre de la chambre calorimétrique. Nous avons reconnu par la suite qu'il était préférable de ménager un certain espace d'air entre le fer et la laine, afin de diminuer les échanges de chaleur. La laine est enroulée sur un léger bristol séparé du fer par trois cales de quelques tours de laine. Les soudures repères sont noyées dans la dernière couche pour éviter leur contact direct avec le verre de la chambre calorimétrique. Dans ces conditions la conduction des soudures de mesure aux soudures repères est très faible ; elle se manifeste selon la différence des températures au bout d'un temps variant de dix secondes à plus d'une minute.

Après plusieurs essais, nous avons utilisé avec la chaîne des couples,

un galvanomètre de l'A.O.P. d'une sensibilité de 263.10^{-10} ampère par millimètre de déviation à un mètre avec une résistance de 1,96ω à 21°C, ce qui correspond pour cette même déviation à une sensibilité de 0,05μV environ. Sa résistance critique est de 15ω. Nous avons placé l'échelle à 4,30 m dans le but d'accroître encore la sensibilité. Dans ces conditions, un degré de variation de température du barreau correspond à une déviation de 3 m environ sur l'échelle.

Le courant d'excitation du solénoïde est fourni par une batterie d'accumulateurs à nombre d'éléments variable. La figure 4 représente le schéma des connexions ; schéma qui permet d'obtenir des variations lentes du champ et de relever, avec le minimum de ma-

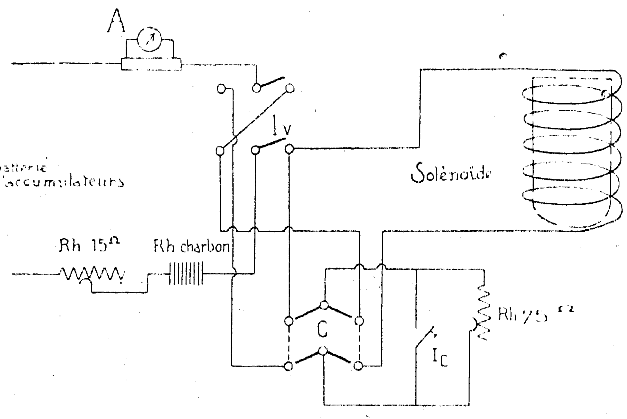


Fig. 4.

nœuvres, des cycles d'hystérésis par la méthode d'Ewing. Il comprend en particulier l'inverseur I_v dont l'une des diagonales passe par le commutateur à court-circuit C. C permet d'insérer dans cette diagonale, ou directement à la suite du solénoïde, un rhéostat variable de 75 ω pouvant être mis en court-circuit par I_c.

Les variations lentes du courant, nécessaires à l'étude des variations de température du barreau, s'obtiennent en maniant convenablement les rhéostats de 75 ω et de 15 ω, C étant vers la droite et I_c ouvert. Ces deux rhéostats, bien que n'étant pas à variation continue, sont néanmoins suffisamment subdivisés pour ne pas donner lieu à des courants de Foucauld, décelables par le système thermométrique.

Pour le relevé des cycles d'hystérésis, la variation brusque du courant de sa valeur maxima I_m, correspondant au sommet du cycle, à une valeur i, s'obtient de la façon suivante : i est réglé par la position du rhéostat de 75ω, I_m est réglé par le rhéostat de 15ω et maintenu

constant au cours d'une série de mesures par un rhéostat à plaques de charbon à variation continue.

1° I_m et i de même sens. Disposer C et I_r vers la droite. Ouvrir I_c.

2° I_m et i de sens contraire. Placer C vers la gauche I_c étant ouvert. Basculer I_r de droite à gauche.

Après chaque mesure, fermer I_c et basculer un certain nombre de fois I_r de façon à faire décrire au fer plusieurs cycles complets, afin de se retrouver dans les mêmes conditions pour la mesure suivante.

Nous avons déterminé les inductions et les variations d'induction par la mesure des quantités d'électricité induites dans une bobine

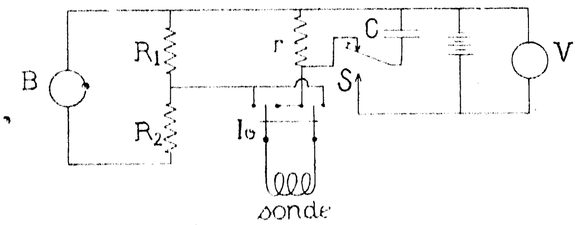


Fig. 5.

sonde, de 70 spires, d'un centimètre carré chacune, disposée au milieu du barreau ; diamètre du fil $\frac{15}{100}$, deux couches soie. Ces quantités d'électricité sont mesurées par un galvanomètre balistique à cadre mobile de 15 secondes de période et de 17ω de résistance. Ce balistique est shunté (fig. 5) par deux résistances R_1 et R_2 réglées de façon à le placer légèrement au-dessus de l'amortissement critique.

L'étalonnage du galvanomètre se fait après chaque série de mesures en déchargeant aux bornes de la résistance r, à l'aide de la clé S, une capacité de $1\mu F$, portée à une tension connue. L'inverseur I_r permet de ramener les décharges inductives à être toujours de même sens dans la balistique. Il doit être naturellement laissé au point mort dans toutes les mesures autres que celles relatives aux inductions.

*
* *

Nous avons fait l'étude de la loi des dégagements et des absorptions de chaleur le long du cycle d'hystérésis pour deux valeurs de l'excitation I_m 2,9 A et 5 A, correspondant respectivement à des inductions maxima de 15 420 et de 18 470 gauss. Les figures 6 et 7 représentent dans leur partie supérieure les cycles considérés, relevés selon la technique indiquée au paragraphe précédent.

Nous avons fractionné la variation du courant d'excitation de $+ I_m$ à $- I_m$ en un certain nombre d'éléments, 6 à 7 en général, et, pour chacun de ces éléments parcouru très lentement, nous avons enregistré la déviation du galvanomètre du système thermométrique. La branche complète AA′ ne peut être explorée en une seule série de

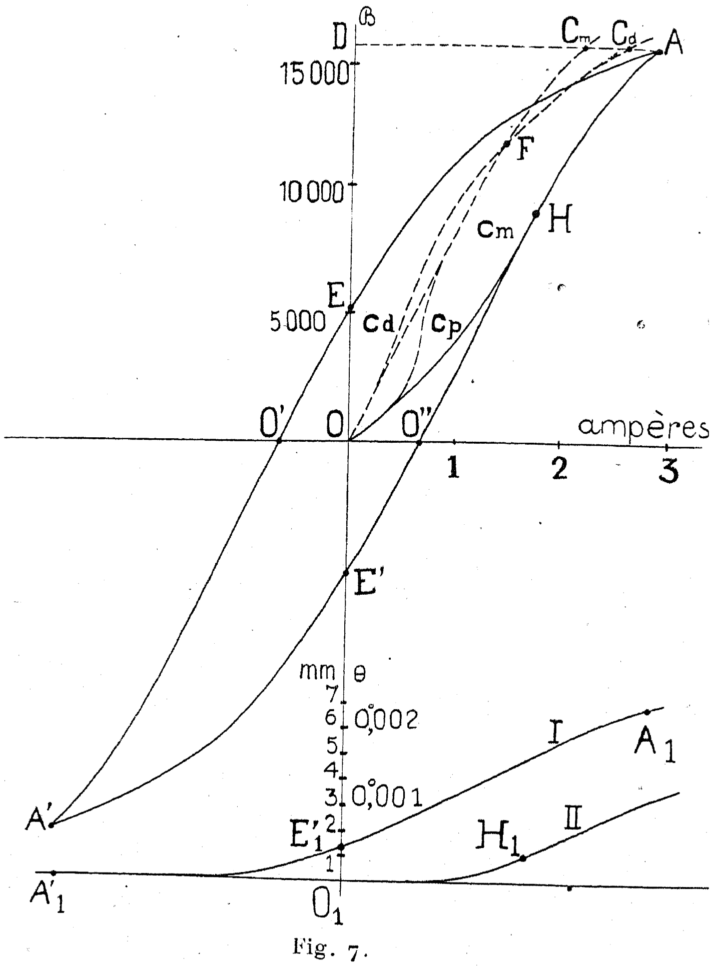


Fig. 7.

mesures avec un tel fractionnement ; cette expérience dépassait de beaucoup le temps permis par l'isolement calorifique de la chambre et la conduction des couples de mesures aux couples repères. Il n'est possible d'étudier chaque fois qu'une région assez restreinte, après être parti nécessairement du point E ou du point E′ correspondant au courant nul. Le temps mis à parcourir le chemin intermédiaire se retranche évidemment du temps permis, ce qui réduit d'autant la durée propre des mesures.

Nous avons vérifié que, le long des deux côtés du cycle, les résultats obtenus sont les mêmes et qu'une variation d'excitation s'étendant sur plusieurs des éléments précédents donne bien une déviation du galvanomètre égale à la somme des déviations obtenues pour chacun de ces

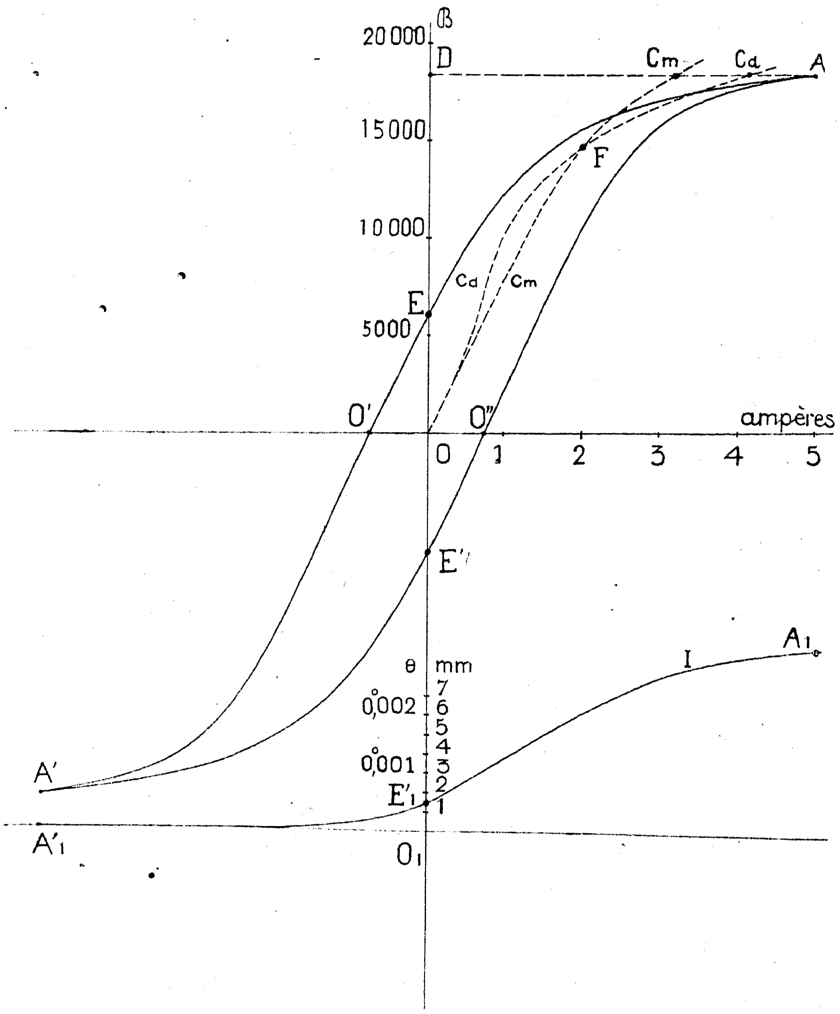


Fig. 7.

éléments. Enfin, nous avons opéré avec un fractionnement différent dont les éléments chevauchent sur les premiers.

Les déviations du galvanomètre sont toujours très petites malgré la sensibilité du système thermométrique, elles dépassent rarement 3 mm avec les fractionnements dont nous nous sommes servis ; elles doi-

vent être lues à la loupe et considérées comme probantes à partir du vingtième de millimètre.

Les courbes que nous avons tracées à la partie inférieure des figures 6 et 7 représentent (courbes I) la chaleur dégagée le long de la branche de droite du cycle à partir du sommet A′ en fonction de l'excitation. Elles ont été construites en portant, à la fin de chaque élément de variation de l'excitation, une ordonnée égale à la somme des déviations obtenues depuis le point A′ ; les ordonnées sont données en millimètres de déviation et en millième de degré [1]. La courbe II (fig. 6) est semblable aux précédentes, mais relative à la courbe de première aimantation issue de l'origine O.

Lorsque l'on parcourt la branche d'hystérésis de A′ en E′, les courbes I semblent partir tangentiellement à l'axe des excitations en A'_1 puis présentent une concavité dirigée vers les échauffements. De E'_1 en A, les courbes I sont rectilignes pendant un certain temps à partir de E'_1 puis s'incurvent à la fin légèrement vers le bas, rappelant ainsi la courbure de la branche du cycle au voisinage du point A. Cette forme de courbe a été trouvée par M. W. Constant avec la différence que toute la région A′E′ est isotherme et que, par conséquent, les courbes I se confondent avec l'horizontale depuis le point A'_1 jusqu'au point O_1. A partir de ce point l'allure est la même, à une translation horizontale près. Nous justifierons cette divergence de résultats — qui est trop marquée pour s'expliquer chez nous par la présence d'un champ démagnétisant — lorsque nous ferons l'étude du phénomène magnétocalorique.

Un fait est à retenir. Nous n'avons jamais observé, ainsi que M. W. Constant [2], un refroidissement net au départ du point A′. L'expérience est très délicate, car pour pouvoir partir du point A′ il faut avoir déjà décrit le chemin EA′ qui correspond à la majeure partie de la chaleur dégagée pour la totalité d'une branche. Dans ces conditions il est extrêmement difficile de juger si le retour en arrière du spot est dû à un refroidissement ou bien à la conduction des soudures de mesure aux soudures repères [3]. Bien que nous ayons recommencé l'ex-

---

(1) L'étalonnage du système thermométrique se fait en rapprochant la somme des déviations obtenues pour la totalité du cycle, de l'élévation de température calculée d'après l'aire du cycle.

(2) M. Adelsberger a enregistré sur un acier au tungstène un refroidissement très net s'étendant sur les deux tiers environ de A′E′, refroidissement en parfait accord avec notre théorie.

(3) Pour stabiliser parfaitement pendant un certain temps (15 secondes environ) le zéro du galvanomètre en A′, nous avons opéré avec une température extérieure décroissante en fin d'après-midi qui donne un léger déplacement du spot vers les

périence un très grand nombre de fois, nous n'avons jamais décelé avec certitude ce très léger refroidissement, qui existe sûrement, comme nous allons le voir bientôt, et qui doit être de l'ordre de grandeur de l'extrême sensibilité du système thermométrique (1). Il en est de même pour tout point de rebroussement, sommet d'un cycle secondaire, pris sur le cycle principal. Nous n'avons jamais enregistré un refroidissement ou un échauffement correspondant au départ de la branche secondaire issue de ce point ; nous avons toujours constaté une absence de déviation.

La courbe de première aimantation se confond, tout au moins pour la figure 6, assez rapidement avec la branche montante du cycle, à partir du point H. La courbe II part tangentiellement à l'axe des excitations du point O_1 et devient sensiblement parallèle à la courbe I à partir de H_1, les deux courbes se déduisant l'une de l'autre par translation verticale.

Si maintenant nous traduisons la loi représentée par les courbes I, comme il a été dit au début, à l'aide d'une caractéristique OC (fig. 1) délimitant, avec la branche du cycle considérée, des aires proportionnelles aux quantités de chaleur mises en jeu, nous trouvons les résultats suivants :

Pour la branche montante de O'' en A, la caractéristique obtenue Oc_mC_m (fig. 6 et 7) est très sensiblement parallèle à cette branche, sauf (fig. 7) dans sa partie supérieure. Les courbes trouvées pour les figures 6 et 7 se superposent, dans la limite des erreurs possibles, très exactement. Si nous construisons également la caractéristique relative à la courbe de première aimantation, la courbe obtenue Oc_p ..., sensiblement tangente à la courbe de première aimantation au départ de l'origine, se confond assez vite avec Oc_mC_m à partir de l'état correspondant au point H. Si l'on agit de même avec la branche montante d'un cycle secondaire aboutissant au point A, la caractéristique trouvée finit toujours, à partir d'un certain point, par se confondre avec Oc_mC_m. La caractéristique Oc_mC_m présente donc un caractère très net d'invariabilité.

Pour la branche descendante — nous servant de AO' au lieu de $A'O''$ afin de rapprocher les résultats — nous obtenons une caractéristique C_dc_dO qui coupe Oc_mC_m en un point F et qui, par consé-

---

échauffements ; on arrive ainsi à compenser sensiblement le déplacement en sens contraire du spot, dû à la conduction des soudures de mesure aux soudures repères.

(1) De l'ordre de $\frac{1}{30000}$ de degré. Pour l'ensemble des courbes que nous avons relevées les points les plus divergents ne s'en écartent que de 0°,00015.

quent, ne se confond pas avec elle. Cette caractéristique est mal définie dans sa partie supérieure ; si nous traduisons qu'il n'y a pas de chaleur absorbée ou dégagée au départ de A le long de la branche descendante, le point C_d doit être confondu avec le point A et la caractéristique doit être tangente à la branche descendante en ce point. Il faut remarquer que l'air Oc_mC_mDO doit être nécessairement égale à l'aire Oc_dC_dDO afin que l'aire du demi-cycle supérieur représente bien la chaleur dégagée durant le parcours O″AO′ [1] ; autrement dit, que l'aire Oc_mFc_dO doit être égale à l'aire FC_dC_mF.

L'étude calorimétrique du début de la branche descendante est très imprécise comme nous l'avons dit, ce qui se confirme d'ailleurs *a posteriori*, en remarquant que C_dc_d') doit couper cette branche sous une incidence très faible : on comprend très bien que dans ces conditions on trouve une absence complète d'échange de chaleur sur une assez grande longueur de la branche descendante, alors qu'en réalité il doit y avoir un léger refroidissement suivi d'un échauffement, se compensant en partie. Il y a donc lieu de déterminer la position du point C_d en réalisant l'égalité des aires, en acceptant comme exactes la caractéristique Oc_mC_m et la partie moyenne et la partie basse de C_dc_dO. De cette position ainsi déterminée, il résulte bien que le début de la branche descendante doit correspondre à un refroidissement du fer.

Au point O les deux caractéristiques C_dc_dO et Oc_mC_m sont tangentes entre elles par raison de continuité.

Contrairement à ce qui a lieu avec la caractéristique Oc_mC_m, les caractéristiques C_dc_dO trouvées sur les figures 6 et 7 ne se superposent pas, elles diffèrent surtout dans leurs parties supérieures ; néanmoins, du moment que le cycle est symétrique, les aires Oc_mC_mDO et Oc_dC_dDO qui représentent l'énergie électromagnétique emmagasinée au point A sont toujours égales.

Lorsque le flux est nul, en O′ et O″, l'énergie emmagasinée sous forme *électromagnétique* est *nulle* [2]. Ce résultat que nous avions prévu est ici totalement démontré par l'expérience, puisque les deux caractéristiques trouvées pour la branche montante et la branche descendante passent par l'origine ; à lui seul, il constitue presque la vérification de notre théorie.

---

(1) L'équivalence entre l'aire du cycle et la chaleur dégagée qui a également lieu pour un demi-cycle a été vérifiée expérimentalement par Warburg (1881). Elle n'est exacte en toute rigueur que pour un cycle parfaitement établi, c'est-à-dire précédé d'un grand nombre de cycles semblables.

(2) Il ne faut pas conclure que l'énergie *potentielle* est nulle en ces points ; elle se réduit à l'énergie emmagasinée sous forme de chaleur d'aimantation. Voir : Une hypothèse sur la nature de l'hystérésis, *loc. cit.* page 13.

L'énergie électromagnétique emmagasinée dans un état figuré par M pour la branche descendante ou par M' pour la branche montante (Voir fig. 1) est représentée par l'aire OM_1mO ou par $OM'_1m'O$, les points M_1 et M'_1 étant pris respectivement sur C_dc_dO ou Oc_mC_m. En dehors des points A et O' et O'', par suite de la non coïncidence des deux caractéristiques, l'énergie électromagnétique n'est pas la même pour des points M et M' situés sur une même horizontale.

Le phénomène magnétocalorique, dont nous n'avons pas encore tenu compte, permet d'expliquer ou de justifier cette différence ainsi que la non coïncidence des caractéristiques. Les résultats que nous avons trouvés sont en réalité la superposition de ceux donnés par notre théorie et de ceux correspondant à l'effet magnétocalorique.

Supposons pour un instant la branche descendante AO' réversible et imaginons deux points mobiles M et M' (Voir fig. 1), partant de O' et de O'' sur les branches du cycle pour aboutir au point A. Les états correspondant aux points O' et O'' sont identiques ; en A l'énergie électromagnétique est la même, que l'on suive le parcours O'A. On peut donc logiquement émettre l'hypothèse que, par suite de l'identité du changement d'état, l'action du phénomène magnétocalorique sur l'énergie électromagnétique trouvée est la même pour l'étendue de chaque parcours. Mais on peut très bien admettre qu'il n'en est ainsi que pour le point A et que, pour deux parcours O'M et O''M' correspondant à des points M et M' pris sur une même horizontale, l'action du phénomène magnétocalorique n'est plus la même. Il est donc très possible ainsi d'expliquer, en gardant l'intégrité de notre théorie, pourquoi les aires OM_1mO et $OM'm'O$ ne sont pas équivalentes et pourquoi les caractéristiques C_dc_dO et Oc_mC_m ne sont pas confondues.

Nous avons effectué une deuxième série d'expériences ayant pour but d'étudier le phénomène magnétocalorique le long du cycle d'hystérésis, et de vérifier l'exactitude de cette hypothèse.

Avant de traiter ce point nous allons donner quelques résultats relatifs aux cycles secondaires. Pour un cycle secondaire accollé au cycle principal — les seuls que nous ayons étudiés — c'est-à-dire dont le sommet inférieur est un point M de la branche AO'A' et dont la branche montante aboutit au point A (fig. 8), le départ du point M, comme nous l'avons dit, est toujours caractérisé par une absence complète, plus ou moins longue, d'échanges de chaleur. Il est à peu près certain que l'on se trouve dans un cas analogue à celui du début de

la branche AO′ et qu'il doit se produire au départ de M un léger refroidissement, précédant la période des échauffements.

La figure 8 représente un cycle secondaire accollé au cycle de la figure 6. Si nous construisons la caractéristique relative à la branche AO′M nous obtenons évidemment $C_d c_d O$ — pris sur la figure 6 — suivi de Oc'_m symétrique de $Oc_m C_m$.

Pour la branche MA, la caractéristique doit présenter dans sa partie

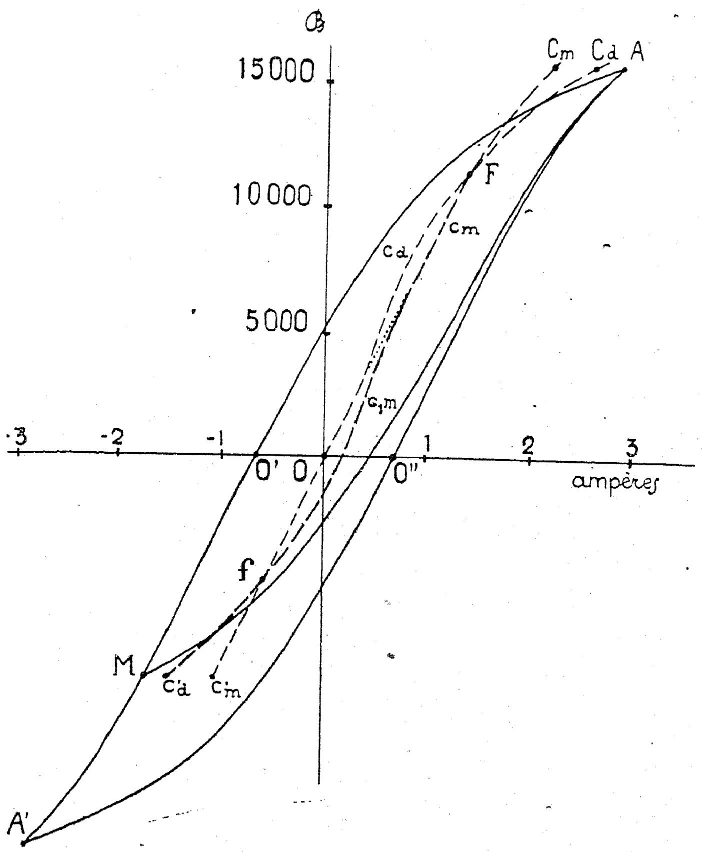


Fig. 8.

basse l'allure $c'_d f c_{1m}$ et se raccorder dans sa partie supérieure, comme nous l'avons fait remarquer, avec $Oc_m C_m$.

Dans un premier parcours du cycle, en partant du point A, il est peu vraisemblable que l'aire $Fc_d O f c_{1m} F$ compense exactement, quel que soit le cycle, la somme des aires $C_m F C_d C_m$ et $c'_m f c'_d c'_m$. De la différence qui peut exister entre ces aires, dépend la coïncidence plus ou moins parfaite de l'extrémité de la branche montante avec le point A pour la même excitation. Si cette coïncidence avait lieu, il n'y

aurait pas dans ce cas équivalence entre l'aire du cycle et la chaleur dégagée [1]. Ce n'est qu'après stabilisation du cycle, c'est-à-dire après un certain nombre de parcours entre les mêmes limites d'excitation, modifiant légèrement la forme de toutes les courbes, que la compensation doit avoir lieu, ainsi que l'équivalence de l'aire du cycle et de la chaleur dégagée.

Enfin, du fait que les caractéristiques C_dc_dO et Oc_mC_m (fig. 6 et 7) passent par l'origine et que, par conséquent, l'énergie électromagnétique est nulle en O' et O'', il résulte qu'au point E correspondant à l'état d'aimant, cette énergie est sûrement différente de zéro. Ainsi se trouve donc résolu le problème de l'énergie emmagasinée dans l'aimant dont beaucoup d'auteurs contestaient encore l'existence et qui fut en somme le point de départ de notre théorie [2] ; l'aimant est donc bien indiscutablement le siège d'une accumulation d'énergie sous forme électromagnétique, qu'il est facile d'évaluer en mesurant l'aire comprise entre la caractéristique C_dc_dO et l'axe des inductions, entre l'origine et l'horizontale passant par E.

*
* *

Le phénomène magnétocalorique, ou effet Weiss Piccard, a été mis en évidence pour la première fois en 1918 [3], en relevant des caractéristiques isothermes du nickel, pour lequel ce phénomène est très marqué. L'établissement du champ s'accompagne d'une élévation de la température du métal ; sa suppression, d'un abaissement sensiblement équivalent. Ce phénomène, comme le fait remarquer M. P. Weiss, ne peut être confondu ici avec la chaleur d'hystérésis à cause de sa réversibilité et de son ordre de grandeur. Pour les aciers fortement hystérétiques, comme ceux que nous avons étudiés, le phénomène perd ces deux qualités et nécessite une nouvelle définition. Il doit être considéré comme entraînant les variations de la chaleur dégagée en fonction de la température pour des cycles correspondant à la même induction maxima ; il est totalement irréversible et relativement très petit.

L'expression de la variation de température peut être calculée dans

(1) Il n'est pas du tout vraisemblable de penser que cette équivalence n'a pas lieu dans un premier parcours.

(2) Voir : Une hypothèse sur la nature de l'hystérésis, *loc. cit.* pages 12 et 16.

(3) Pierre Weiss et A. Piccard : Comptes rendus, t. 166 (1918), page 352. Voir P. Weiss et Foëx : La magnétisme (1926), page 148. Voir également les isothermes du nickel, même ouvrage pages 112 et 113 (Weiss et Forrer).

le cas d'un corps dépourvu d'hystérésis, pour lequel le phénomène magnétocalorique est réversible.

L'état de ce corps est caractérisé par $\mathcal{H}$, $\mathcal{B}$, T, T étant sa température absolue. Deux de ces quantités étant données, cet état est parfaitement défini et représentable par le point M dans le champ des isothermes (fig. 9).

Dans une transformation élémentaire, à partir du point M, et correspondant à une augmentation de l'induction, l'énergie fournie par la source du courant d'excitation est $\frac{1}{4\pi}\mathcal{H}d\mathcal{B}$ par centimètre cube de matière. Soient dU l'accroissement de l'énergie électromagnétique et dQ la chaleur dégagée, ramené en unités équivalentes. Nous avons :

$$\frac{1}{4\pi}\mathcal{H}d\mathcal{B} = dU + dQ$$

en négligeant toute déformation ou variation de volume du système. Comme la transformation est supposée réversible, $\frac{dQ}{T}$ est une différentielle totale et nous pouvons poser $dQ = -TdS$, S étant l'entropie. Il vient :

$$\frac{1}{4\pi}\mathcal{H}d\mathcal{B} = dU - TdS = d(U - TS) + SdT$$

ou encore :

$$d(U - TS) = \frac{1}{4\pi}\mathcal{H}d\mathcal{B} - SdT.$$

Le premier membre de cette équation étant une différentielle totale, le second membre l'est également, de sorte que l'on peut écrire :

$$\frac{1}{4\pi}\left(\frac{\partial\mathcal{H}}{\partial T}\right)_{\mathcal{B}=C^{te}} = -\left(\frac{dS}{\partial\mathcal{B}}\right)_{T=C^{te}},$$

d'où :

$$S_1 = -\frac{1}{4\pi}\int_0^{\mathcal{B}}\frac{\partial\mathcal{H}}{\partial T}d\mathcal{B},$$

l'intégration étant faite à T constant et en appelant S_1 la variation d'entropie dans l'aimantation isotherme du corps de zéro jusqu'à $\mathcal{B}$ Il résulte que la chaleur développée le long de l'isotherme T de O en M est :

$$Q = -TS_1 = \frac{T}{4\pi}\int_0^{\mathcal{B}_M}\frac{\partial\mathcal{H}}{\partial T}d\mathcal{B}. \quad (^1)$$

(1) Formule analogue à celle de Clapeyron. Elle peut être du reste établie de la même manière en évaluant l'aire du cycle de Carnot formé par les deux isothermes infiniment voisines, correspondant respectivement à T et T + dT et les isentropes passant par l'origine et le point M. La démonstration précédente nous a été communiquée par M. Liénard.

Q est la fraction de l'énergie potentielle emmagasinée sous forme de quantité de chaleur réversible dans l'aimantation isotherme à T du corps depuis l'induction nulle jusqu'à l'état figuré par M. Pour maintenir le corps à l'état isotherme pendant cette aimantation il est nécessaire de faire absorber la quantité de chaleur Q par le milieu extérieur. Ainsi donc, dans ce cas, la fraction d'énergie potentielle correspondant à Q serait emmagasinée dans le milieu extérieur.

Si, au contraire, l'aimantation a lieu adiabatiquement comme c'est généralement le cas, on peut admettre, sans grande erreur, que la même chaleur Q correspond à l'élévation de température du système, restant entendu que cette élévation est très faible. On a donc, après avoir exprimé Q en calories et l'avoir rapporté à l'unité de masse :

$$c\Delta t = \frac{AT}{4\pi\delta}\int_0^{\mathcal{B}_0} \frac{\partial \mathcal{H}}{\partial T}\, d\mathcal{B}. \qquad 1)$$

Δt étant l'élévation de température éprouvée dans l'aimantation, c le coefficient de chaleur spécifique du corps, δ sa densité et A le coefficient d'équivalence.

Pour une variation d'aimantation du corps entre les inductions $\mathcal{B}_1$ et $\mathcal{B}_2$ $(\mathcal{B}_1 < \mathcal{B}_2)$ à la température T, l'échauffement est donné par l'expression [1] :

$$c\Delta t = \frac{AT}{4\pi\delta}\int_{\mathcal{B}_1}^{\mathcal{B}_2} \frac{\partial \mathcal{H}}{\partial T}\, d\mathcal{B}. \qquad 2)$$

Les formules 1 et 2, sont susceptibles, en pratique, d'être traduites graphiquement.

Supposons que nous ayons relevé deux caractéristiques du corps considéré, en partant initialement des températures absolues T_0 et T_1 ; ces caractéristiques peuvent être pratiquement confondues avec les isothermes T_0 et T_1 étant donnée la petitesse des Δt le long de ces courbes

---

(1) Nous avons supposé en établissant les formules 1) et 2) que le coefficient c était indépendant de $\mathcal{B}$. S'il n'en est pas ainsi, il faut écrire la formule 1) — on ferait de même pour 2) — de la manière suivante :

$$\Delta t = \frac{AT}{4\pi\delta}\int_0^{\mathcal{B}_0} \frac{1}{c_{\mathcal{B}}}\, \frac{\partial \mathcal{H}}{\partial T}\, d\mathcal{B}$$

c étant pris à induction constante pour la valeur $\mathcal{B}$.

M. P. WEISS donne une formule symétrique :

$$dT = -\frac{AT}{c_{\mathcal{B}}\delta}\, \frac{\partial \mathcal{J}}{\partial T}\, d\mathcal{B}$$

dans laquelle $\frac{\partial \mathcal{J}}{\partial T}$, $\mathcal{J}$ étant l'intensité d'aimantation, peut être remplacée par $\frac{1}{4\pi}\left(\frac{\partial \mathcal{B}}{\partial T}\right)_{\mathcal{H}=C^{te}}$.

vis-à-vis de T_0 et de $T_1 - T_0$. Si T_1 n'est pas trop différent de T_0 on peut admettre que le rapport $\frac{MM'}{T_1 - T_0}$ pour chaque valeur de l'induction (fig. 9) représente la valeur de $\frac{\partial \mathcal{H}}{\partial T}$ dans l'intervalle T_0, T_1.

Nous pouvons alors construire par points une courbe OC_T en portant horizontalement vers la gauche, à partir du point M, une longueur MM_1 égale à $T_0 \frac{MM'}{T_1 - T_0}$. Il est facile de voir que l'aire MM_1OM représente à une certaine échelle l'élévation de température du corps dans son aimantation à T_0 et que l'aire M'MOM' représente l'accroissement de cette élévation de température lorsque l'on passe de T_0 à T_1.

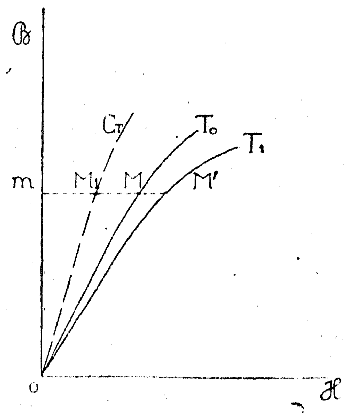


Fig. 9.

L'énergie potentielle emmagasinée dans l'état correspondant au point M se décompose en deux parties : la partie représentée par l'aire MM_1OM qui se trouve emmagasinée sous forme de chaleur réversible d'aimantation et la partie représentée par M_1mOM_1. Cette dernière partie paraît être logiquement l'énergie qui serait emmagasinée par le corps en l'absence du phénomène magnétocalorique. La caractéristique OC_T serait donc la caractéristique du corps dans ce cas, pour des températures comprises entre T_0 et T_1 (1). Si $\frac{\partial \mathcal{H}}{\partial T}$ est constant dans

(1) Si l'on fait en sorte que l'aimantation soit isotherme, l'énergie représentée par MM_1OM. avons-nous dit, se trouve alors emmagasinée dans le milieu extérieur. L'énergie représentée par M_1mOM_1 correspond donc dans ce cas uniquement à l'énergie emmagasinée sous forme électromagnétique. Si nous rapprochons ce problème du problème des deux sources (Voir : Une hypothèse sur la nature de l'hystérésis) nous pouvons dire qu'il existe un champ démagnétisant de valeur $T \frac{\partial \mathcal{H}}{\partial T}$ qui se retranche du champ $\mathcal{H}$ d'origine extérieure pour donner un champ résultant correspondant à la caractéristique OC_T qui est la *vraie* caractéristique du système.

l'intervalle du zéro absolu à T_1, OC_T représente la caractéristique du corps au zéro absolu, température pour laquelle le phénomène magnétocalorique est inexistant. Si au contraire $\frac{\partial \mathcal{H}}{\partial T}$ est variable, croissant avec T dans le cas du nickel, d'après les isothermes de MM. Weiss et Forrer [1], OC_T se déplace vers la gauche lorsque T

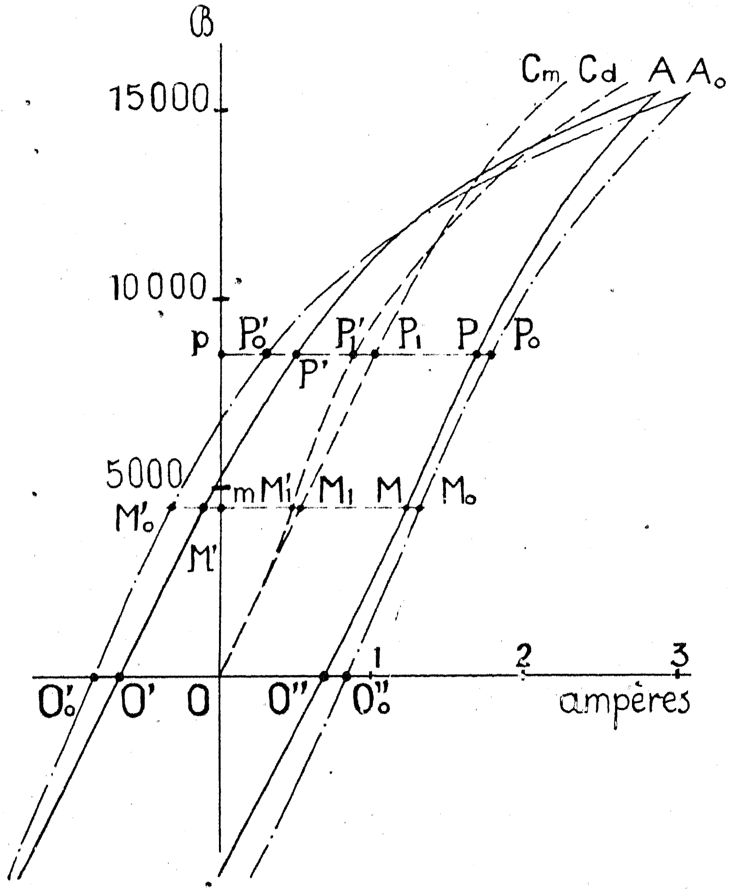


Fig. 10.

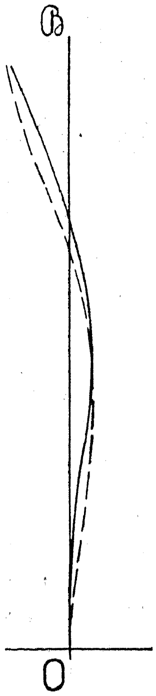


Fig. 10 bis.

augmente ; dans ces conditions l'énergie représentée par $M_1 m O M'_1$ diminue lorsque T augmente et le phénomène magnétocalorique est autant lié à cette diminution — c'est-à-dire au déplacement de OC_T — qu'au déplacement des isothermes OT avec la température.

Transposons maintenant tout ceci dans le domaine de l'hystérésis.

Nous avons relevé sur notre échantillon, en partant de la même induction maxima de 15 420 gauss, deux cycles d'hystérésis, respecti-

(1) Voir : Le magnétisme, *loc. cit.*, pages 112 et 113.

vement à 8° et à 50°. Ces cycles nous permettent d'étudier le phénomène magnétocalorique et son influence dans le cas relatif à la figure 6. Ces cycles peuvent être considérés comme isothermes, comme nous l'avons dit plus haut, étant donnée la petitesse des M ; ils diffèrent très peu l'un de l'autre, aussi les relevés et les tracés doivent en être très précis. Nous avons réalisé la température de 8° en mettant de la glace dans la cuve supérieure du meuble contenant l'appareil et celle de 50°, en chauffant l'atmosphère intérieure de ce meuble avec des lampes ; ces températures ont été maintenues plusieurs jours avant de procéder aux mesures. Nous nous sommes efforcé de travailler avec la même température extérieure dans les deux cas, afin d'éliminer son influence possible sur les appareils de mesures. La seule cause d'erreur qui aurait pu se produire serait la dilatation du solénoïde ; dilatation qui diminue très légèrement la valeur du champ pour un même courant.

Le cycle O″AO′ représenté sur la figure 10 correspond à la température de 8°.

Les formules 1 et 2, peuvent s'étendre au cas d'un phénomène non réversible, à la condition d'admettre que les $\frac{\partial \mathcal{H}}{\partial T}$ sont sensiblement constants dans l'intervalle du zéro absolu à T. Nous pouvons donc garder en faisant cette hypothèse, la même représentation graphique du phénomène magnétocalorique et construire le cycle $O''_a A_a O'_a$ en multipliant les distances mesurées horizontalement entre O″AO′ et le cycle relevé à 50° par $\frac{273+8}{50-8}$ et en les portant de l'autre côté.

Dans le parcours MP, sur la branche montante, par exemple, le phénomène magnétocalorique est représenté par l'aire $P_aPMM_aP_a$; il correspond à un refroidissement. Ce refroidissement ne se manifeste pas en totalité comme dans le cas précédent par une variation de température du fer. Il représente et la diminution des pertes par hystérésis éprouvées lorsque l'on passe du cycle relevé en l'absence du phénomène magnétocalorique au cycle réel O″AO′ pour la même température et la variation de l'énergie électromagnétique apparente, correspondant au déplacement de la caractéristique $C_{a'a}O$ dans ce même passage, variation qui seule se traduit par une variation de température faussant les résultats trouvés dans nos précédentes recherches [1].

Dans le parcours MP l'augmentation d'énergie électromagnétique

(1) Seule cette variation qui porte sur l'énergie électromagnétique apparente doit être rapprochée du phénomène magnétocalorique trouvé dans le cas d'un corps non hystérétique.

trouvée est représentée par $P_1pmM_1P_1$; d'autre part, le long du parcours $P'M'$ décrit sur la branche descendante entre les mêmes inductions, mais en sens contraire, la diminution d'énergie électromagnétique trouvée est représentée par $P'_1pmM'_1P'_1$ alors que le phénomène magnétocalorique qui accompagne ce passage correspond à un refroidissement représenté par l'aire $P'P'_0M'_0M'P'$. Ces deux variations d'énergie électromagnétique ne sont pas égales. Nous allons démontrer que, si leur différence correspondant à l'aire $P_1P'_1M'_1M_1P_1$ est précisément la même que celle des effets magnétocaloriques relatifs aux deux parcours, ces variations sont égales en l'absence du phénomène magnétocalorique.

Imaginons un deuxième système identique à celui que nous considérons, mais capable de parcourir la branche descendante AO' d'une façon réversible, même pour la chaleur dégagée par hystérésis. Supposons de plus, qu'entre les deux systèmes, nous puissions échanger à notre guise les quantités de chaleur représentées par les phénomènes magnétocaloriques.

Ceci étant posé, faisons parcourir au premier système la branche montante de M en P pendant que le deuxième système décrit la branche descendante à contre sens de M' en P'. Pour le premier système le phénomène magnétocalorique se traduit par un refroidissement représenté par $P_0PMM_0P_0$; alors que pour le second, il se traduit par un échauffement représenté par $P'P'_0M'_0M'P'$.

Établissons entre les deux un échange de chaleurs magnétocaloriques de telle sorte que le refroidissement du premier système soit exactement compensé. Ce premier système, qui décrit la branche montante $O''A$ et qui correspond à la caractéristique OC_m, va se comporter comme s'il était dépourvu de phénomène magnétocalorique, c'est-à-dire que $O''A$ et OC_m seront censées relevées en l'absence de ce phénomène.

Le deuxième système se comporte alors comme si le phénomène magnétocalorique s'était réduit pour le trajet $M'P'$ à l'échauffement correspondant à $P'P'_0M'_0M'P'$ $P_0PMM_0P_0$. Or, la branche montante $O''A$ étant déjà supposé dépourvue du phénomène magnétocalorique, la branche descendante AO', par suite de la continuïté au point A et aux points O'' et O', doit être également supposé relevée en l'absence de ce phénomène. Pour avoir les pertes par hystérésis en l'absence du phénomène magnétocalorique, il suffit d'ajouter cet échauffement aux pertes par hystérésis relevées dans nos précédents essais le long de $P'M'$ et représentées par $P'_1P'M'M'_1P'_1$ Dans ces conditions la nouvelle

caractéristique C_dO trouvée sera déplacée vers la droite par rapport à l'ancienne, de telle sorte que l'aire balayée par P'_1M_1 soit égale à $P'P'_0M'_0M'P' - P_0PMM_0P_0$ (1). Si cette aire est précisément égale à $P_1P'_1M'_1M_1P_1$ la nouvelle caractéristique C_dO vient se confondre avec OC_m et les variations d'énergie électromagnétique en l'absence du phénomène magnétocalorique sont égales.

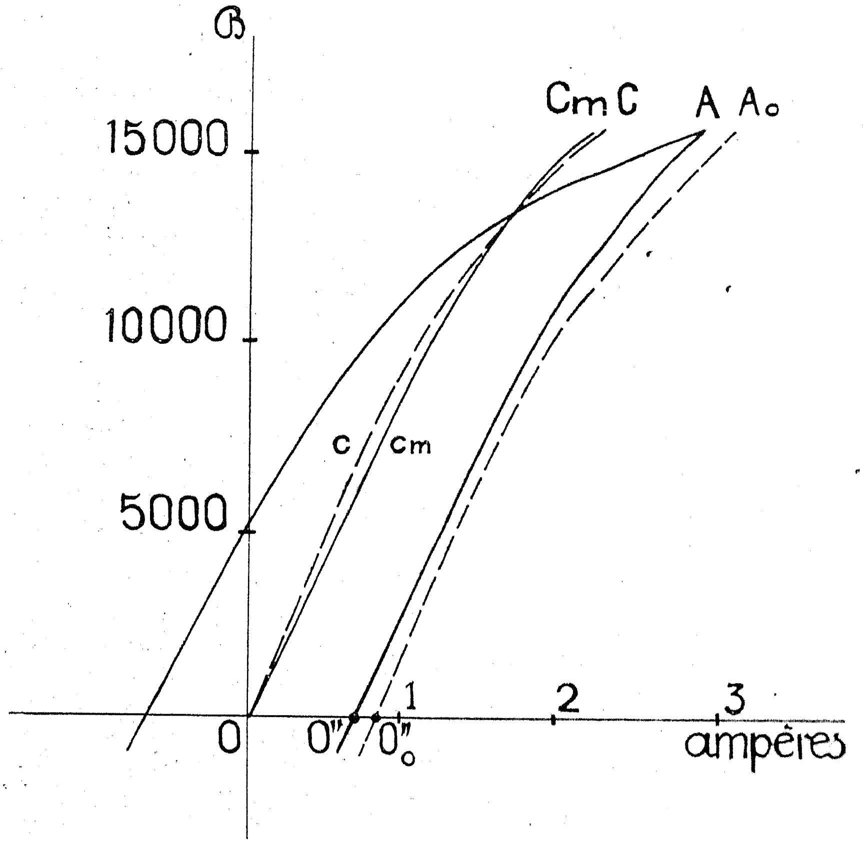


Fig. 11.

En définitive si cette condition, qui entraîne l'égalité

$$M'_1M_1 = M'_0M' - MM_0$$

pour toutes les inductions, est réalisée la réversibilité de la caractéristique OC (Voir fig. 1) correspondant purement au phénomène hystérétique est *établie*.

La figure 10 *bis* représente — en traits pleins — portées à partir de l'axe des inductions, les différences M'_1M_1 entre les caractéristiques

(1) Cette aire représente donc la variation de température du fer, occasionnée réellement dans ce cas par le phénomène magnétocalorique.

Oc_mC_m et C_dc_dO de la figure 10 et — en traits discontinus — les différences $M'_0M' - MM_0$. L'examen de ces deux courbes, malgré leur tracé forcement imprécis étant donnés le nombre de différences et l'extrapolation nécessaires à leur établissement, permet cependant de conclure d'une façon presque certaine à leur coïncidence.

Ainsi se trouve vérifiée intégralement notre conception de l'hystérésis.

Malheureusement ce raisonnement ne nous permet pas de préciser l'emplacement de la caractéristique OcC existant pour le cycle O″AO′ en l'absence du phénomène magnétocalorique (fig. 11). Il y a cependant tout lieu de supposer que cette caractéristique est sensiblement parallèle à la branche O''_0A_0 comme Oc_mC_m est parallèle à O″A afin que la chaleur dégagée le long de O''_0A_0, si cette branche était suivie réellement, soit également une fonction linéaire du champ, tout au moins pour les inductions faibles.

Il est facile de voir que conformément à ce que nous avons dit au sujet des caractéristiques C_dc_dO et Oc_mC_m relativement à l'équivalence des aires OcE_mc_dO et FC_dC_mF (fig. 6), l'aire $A_0AO''O''_0A_0$ est égale à $GO'_0OG - A_0AGA_0$ (fig. 10). L'effet du phénomène magnétocalorique pour l'étendue des parcours O″A et AO′ est donc le même.

On peut remarquer qu'avec un acier présentant un phénomène magnétocalorique plus accentué que celui dont nous nous sommes servi, la caractéristique C_dc_dO qui en subit principalement l'influence coupe sous un angle plus faible la branche descendante AO′ et s'en trouve très voisine sur un plus grand parcours. Ceci explique très bien pourquoi M. W. Constant a pu constater l'absence complète d'échange de chaleur entre le point A et le point E (fig. 6 et 7) sans être en contradiction avec notre théorie. L'importance du phénomène magnétocalorique peut donc être caractérisée par la faiblesse de la chaleur dégagée le long de la branche AE, surtout dans la partie basse.

Conclusions. — De cette étude sur l'hystérésis, il résulte que les variations de température éprouvées par le fer, au cours d'une variation d'état magnétique, sont dues à un déplacement de sa courbe de magnétisme. Le phénomène paraît être le même dans le cas de l'effet magnetocalorique, en l'absence d'hystérésis. On est donc en droit d'admettre que le fer possède toujours une caractéristique isotherme réversible, passant par l'origine, qui doit être considérée comme sa vraie caractéristique et qui limite l'aire représentant l'énergie emmagasinée sous forme électromagnétique.

Le passage de la caractéristique vraie à la caractéristique suivie dans la réalité est dû à l'existence d'un champ interne se composant avec le champ extérieur pour donner un champ résultant, correspondant à la caractéristique vraie. Dans le cas de l'hystérésis, l'origine du champ interne est vraisemblablement une tension élastique s'exerçant entre les molécules, tension associée à un frottement des molécules entre elles. La caractéristique vraie est celle qui serait probablement relevée si les molécules étaient entièrement libres au point de vue mécanique (1).

Dans le cas du phénomène magnétocalorique, la cause du champ interne doit être la modification du mouvement moléculaire, déjà fonction de la température, avec le champ inducteur.

Il ne faut certainement pas expliquer l'hystérésis par une irréversibilité du phénomène magnétocalorique seul, puisque d'abord l'hystérésis existe théoriquement au zéro absolu et que les deux phénomènes coexistent dans un même fer.

Nous espérons que ces quelques expériences seront utiles à l'étude de la constitution de la molécule des corps magnétiques ; et qu'il sera possible un jour de les faire au voisinage du zéro absolu où le phénomène magnétocalorique n'existe pas.

(1) Cette caractéristique vraie peut être considérée comme satisfaisant à la théorie du ferromagnétisme de MM Langevin et Weiss.

INFORMATIONS
DE LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DES ÉLECTRICIENS

Discours prononcés lors de la présentation à l'Institution of Electrical Engineers du portrait d'Ampère

par M. E. Maxence.

Le 20 novembre 1930.

M. L. B. Atkinson (ancien Président). — Je prends, ce soir, la parole, pour répondre à la requête de notre Président, avec des sentiments très différents de ceux dont mon esprit était rempli lorsque j'acceptai, sur son invitation, de vous présenter ce portrait au nom de M. Garcke, à qui son état de santé ne permettait pas de le faire.

Le 2 novembre, le donateur de cette œuvre m'écrivait en manifestant l'espoir d'être guéri dans une quinzaine de jours et il ajoutait :

« Votre aide m'a été si précieuse dans cette affaire et m'a débarrassé « d'une telle responsabilité, que je voudrais saisir cette occasion de vous « exprimer, avec ma reconnaissance, l'espoir qu'il vous sera possible de « prendre part à la cérémonie de la présentation. »

Quelques jours plus tard, il n'était plus et, il y a deux jours, nous conduisions à sa dernière demeure un homme que j'avais connu, respecté et aimé pendant 43 ans.

Il y a environ deux ans, le Comité de l'Institution manifestait le souhait de voir les portraits des pionniers les plus éminents de la Science électrique prendre place dans cette salle de conférences.

Je me rendis chez le regretté M. Garcke pour lui exposer ce projet. Il m'exprima, aussitôt, le désir d'y collaborer et il écrivit au Président pour lui offrir le portrait d'Ampère; en même temps, comme nous considérions que le peintre choisi devait être Français et que les documents devaient se trouver en France, il me demanda de m'entendre avec l'Institution pour prendre toutes dispositions utiles.

Après que le Secrétaire de l'Institution à Paris eût consulté quelques artistes français éminents, la commande du portrait fût passée à M. Edgar Maxence, Membre de l'Institut.

En 1929, lors de notre réunion d'été en France, j'eus le plaisir, avec notre Président d'alors, M. le Colonel Edgcumbe et M. Rowell, de voir le portrait dans l'atelier de l'artiste qui nous exposa comment il avait procédé pour réaliser l'œuvre d'art impressionnante que vous avez devant les yeux.

Les documents authentiques utilisés furent les suivants :

— une médaille (profil) de David d'Angers ;
— un portrait lithographié (de trois quarts) par Louis Boilly ;
— une esquisse faite par un élève du Lycée de Bordeaux, au cours d'une inspection d'Ampère en 1830 ;
— un dessin fait par Mme de Saint-Cric, à Limoges, en 1833.

D'après ces portraits, de face et de profil, l'artiste exécuta un modèle de la tête. La pose ayant été fixée, l'artiste fit un dessin, grandeur nature sur modèle nu, pour réaliser, en exact équilibre, la charpente du personnage. Il fit ensuite un modèle d'environ 60 centimètres de haut, revêtu d'un costume du temps et peignit le tableau d'après ce modèle.

Je sais que ce portrait est considéré, par les artistes français, comme une œuvre extrêmement belle ; il diffère considérablement comme style, du type des portraits placés dans les salles des diverses institutions d'Angleterre, mais nous l'accueillons comme une grande œuvre d'art digne du grand mathématicien français dont nous voulons perpétuer la mémoire.

Puis-je ajouter un mot sur l'homme que fut Ampère ? Né en 1775, dans ces temps troublés qui aboutirent à la Révolution française, à la Terreur et à la mort de son père sur l'échafaud, il eut à lutter toute sa vie contre les circonstances qui l'entouraient. Son œuvre principale fut consacrée au développement des mathématiques, mais sa renommée dans le domaine de la science électrique repose sur deux grandes découvertes : la loi de l'action entre circuits parcourus par les courants électriques et l'hypothèse attribuant aux courants moléculaires les causes du magnétisme.

En 1820, Oersted publia sa découverte de l'action d'un courant électrique sur un aimant, et presque immédiatement après, Ampère découvrit et étudia l'action réciproque de deux circuits électriques.

Ampère appartenait au groupe des physiciens du continent qui acceptaient sans aucune difficulté la notion de l'action à distance et il n'essaya jamais, comme le fit Faraday, d'expliquer ces actions.

Maxwell écrit, au sujet de cette découverte et de la loi qui l'énonçait : « La recherche expérimentale par laquelle Ampère établit les lois de l'action mécanique entre les courants électriques constitue l'un des plus brillants accomplissements de la Science. La théorie entière, avec ses

expériences, paraît avoir jailli, complètement formée et armée du cerveau de ce NEWTON de l'électricité. D'une forme parfaite, d'une exactitude irréprochable, elle a été résumée dans une formule d'où tous les phénomènes peuvent être déduits et qui restera la formule fondamentale de l'Electro-dynamique. »

« Nous avons peine à admettre, continue-t-il, qu'AMPÈRE découvrit réellement la loi de l'action au moyen des expériences qu'il décrit. Nous sommes conduits à soupçonner, ce qu'en fait il dit lui-même, qu'il découvrit ces lois par quelque procédé qu'il ne nous a pas dévoilé et qu'une fois mise sur pied une démonstration parfaite, il supprima toutes traces de l'échafaudage qui lui avait servi à l'édifier ».

La théorie d'AMPÈRE de l'action mutuelle des courants électriques est fondée sur quatre faits expérimentaux et sur une hypothèse. Les faits expérimentaux démontrent l'action réciproque des courants parallèles ou perpendiculaires l'un à l'autre, que les circuits soient droits ou sinueux. L'hypothèse consiste en ce que les éléments de circuits agissent l'un sur l'autre suivant la droite qui les joint et que ce n'est pas l'ensemble d'un des circuits qui agit sur l'autre. Les résultats peuvent être expliqués, comme MAXWELL et d'autres l'ont fait pour d'autres théories, mais la théorie et les formules d'AMPÈRE conduisent à des résultats vérifiés dans tous les cas où l'on peut le faire expérimentalement. Cette découverte, cette démonstration et cette théorie constituèrent un pas énorme accompli dans l'histoire de notre Science.

Je ne fais qu'une rapide allusion à la théorie d'AMPÈRE d'après laquelle le magnétisme d'un aimant permanent résulterait de la somme des actions des courants électriques circulant en circuits fermés à l'intérieur des molécules.

Cette explication parut longtemps plutôt fantaisiste, mais aujourd'hui, elle est acceptée, sous une forme modifiée, comme véritable. Les courants électriques d'AMPÈRE, circulant dans les molécules, ce sont aujourd'hui les électrons tournant autour du noyau des atomes.

Garder toujours devant les yeux le souvenir de ce grand Français sera pour nous un grand bien et quoique le donateur ne soit plus avec nous, notre profonde reconnaissance ira à lui pour son geste généreux. Bien que GARCKE ne fût pas lui-même ingénieur, il appréciait notre Institution et ses travaux et il était toujours prêt à l'aider quand il le pouvait. Le présent qu'il nous a fait sera pour nous, en même temps qu'un souvenir précieux, un témoignage permanent de l'intérêt et de l'affection qu'il portait à cette Institution, guide scientifique de l'Industrie au service de laquelle il consacra sa vie.

Je vous demande donc, M. le Président, de vouloir bien, conformément au désir du donateur, accepter ce portrait au nom de l'Institution.

M. C. C. PATERSON (*Président*). — M. ATKINSON, nous vous sommes vraiment reconnaissants d'avoir bien voulu vous charger de cette présentation, dans des circonstances si particulières.

Vous vous êtes étroitement associés à M. GARCKE pour offrir à l'Institution le portrait du grand AMPÈRE, et nous sommes heureux de penser qu'avant sa mort, M. GARCKE a appris, par votre intermédiaire, combien nous apprécions sa générosité.

Mais si nous ne pouvons plus l'avoir parmi nous pour le remercier, il n'est aucun Membre de l'Institution qui ne serait heureux de s'exprimer exactement comme si M. GARCKE était encore ici, et de manifester, en même temps, le sentiment de profond regret que sa perte inspire à la corporation des ingénieurs électriciens.

AMPÈRE était un des grands hommes du grand pays de France et ce portrait, qui est l'œuvre de l'un des artistes français les plus éminents, nous rappellera, à nous-mêmes et à nos successeurs, la fraternité qui nous lie à ce pays dans la voie du progrès.

De même que l'estime dont AMPÈRE savait entourer le génie des autres, ne souffrit jamais des rivalités nationales, de même nous pouvons, dans cette voie, maintenir notre tribut d'hommage à cette nation si grande parmi toutes celles qui savent se montrer fidèles et loyales.

AMPÈRE étudia aussi la nature et les tendances humaines et quelques-unes de ses remarques montrent combien il était préoccupé des progrès de l'humanité.

Voici un extrait de ses écrits que l'on pourrait, avec avantage, méditer aujourd'hui : « le véritable but de nos efforts devrait être, non de rendre l'homme heureux, mais de le rendre meilleur. »

Messieurs, je vous demande de vous tenir avec moi, debout, en silence, pour exprimer ici, en même temps que notre deuil profond, notre très sincère gratitude.

Compte rendu de la réunion de la Conférence Mondiale de l'énergie, de juin 1930 à Berlin.

par M. Parodi

Président de la Société française des Électriciens, délégué de la Société au Congrès de Berlin.

La conférence mondiale de l'Énergie — (World Power conference) créée à Londres par la B.E.A.M.A. (British electrical and allied Manufacturers Associations, a tenu jusqu'à présent deux séances plénières, la première à Londres en 1924, la seconde à Berlin en juin 1930. — Entre temps ont eu lieu les réunions partielles :

à Bâle en 1925 ;

à Londres en 1928 ;

à Barcelone en 1929 ;

à Tokio en 1929 ;

Les séances de 1925 et 1928 ont été plus spécialement consacrées, la première aux forces hydrauliques, la seconde aux combustibles.

La réunion de Berlin 1930 a rassemblé 4 000 congressistes venant de plus de 50 pays, et elle a recueilli 400 rapports rédigés en trois langues : français, anglais, allemand.

Organisation technique du congrès. — Ces 400 rapports ont été répartis pour la discussion entre 34 sections et pour la publication en 18 volumes consacrés aux matières suivantes ;

1° Emplois de l'Électricité.
2° Production et emploi du gaz.
3° Transmission mécanique de l'énergie.
4° Centrales thermiques.
5° Moteurs primaires.
6° Combustibles solides et conditions économiques de production.
7° Chaudières et foyers.
8° Pétrole et moteurs à combustion.
9° Centrales hydrauliques.
10° Développement de l'énergie hydraulique et législation.
11° Accumulation de l'énergie et interconnexion des centrales.
12° Machines électriques.
13° Tableaux de distribution.

14° Transmission de l'énergie.

15° Utilisation et tarification de l'énergie.

16° Problèmes relatifs à la fourniture de l'énergie et législation.

17° Utilisation de l'énergie dans les entreprises de transport.

18° Recherches, unification, statistiques, enseignement.

De plus 7 conférences ont été faites par MM. Einstein, Serruys Foster, Bain, Oliven, Vallauri, Eddington et Enstrom, en séances générales, elles seront rassemblées dans un volume spécial.

Tendances générales révélées par le congrès.

La tendance générale qui s'est révélée au cours de la Conférence Mondiale de l'énergie de 1930, plus peut-être que dans les congrès précédents, est de donner une importance prépondérante aux questions économiques ; la technique est maintenant assez avancée pour que la recherche du meilleur rendement financier puisse être poursuivie rationnellement en utilisant les connaissances acquises en ce qui concerne le rendement mécanique des machines, des usines, et des réseaux généraux de production et de transport.

Les questions passent ainsi naturellement du plan technique au plan économique, du plan local au plan national et continental. C'est ainsi que le Dr Oliven présente un schéma général de superréseau européen plus intéressant par l'état d'esprit qu'il révèle, que par sa constitution même.

C'est dans la conférence de M. Serruys qu'est le mieux exposée et résumée cette évolution de « l'Industrie de l'Energie » par l'organisation systématique de cartels ou de Konzerns.

Le développement de ces cartels permet et surtout permettra de proportionner la capacité de production des usines, ou des réseaux, aux facultés d'absorption d'un marché qu'il convient de considérer de plus en plus dans son ensemble.

Les cartels seuls peuvent recueillir, grâce à un service d'information spécialement organisé, la documentation leur permettant de définir à chaque instant l'état du marché dans le monde entier, et essayer de déduire, de cette succession d'états, l'évolution prochaine probable de ce marché.

Un programme d'aménagement des Usines et des lignes nouvelles, peut alors être préparé en tablant sur cette situation d'avenir probable.

De ce programme général résulte un programme technique d'utilisation rationnelle des sources d'énergie disponible par adaptation de

l'offre d'énergie à sa demande. La technique joue ainsi par rapport à ce que j'appellerai « L'Economie Industrielle » le même rôle que la tactique joue par rapport à la stratégie dans l'art de la guerre.

Le congrès a longuement traité toutes les questions techniques figurant dans son immense programme, en recherchant presque toujours à dégager les conséquences économiques des réalisations faites, ou en cours de réalisation ou d'études.

Les procédés techniques employés pour réduire les capitaux investis et augmenter le rendement financier des installations, se ramènent tous à l'augmentation de la puissance des unités, à l'augmentation de la pression des machines à vapeur, à l'augmentation de la tension des lignes de transport des forces.

Il y a lieu de signaler de très intéressants rapports relatifs à l'action de la tarification de l'énergie sur l'utilisation de la puissance, et on a envisagé notamment le retour à la tarification basée sur le kilowatt-an, au lieu du kilowatt-heure.

Accords conclus au point de vue de la coopération des diverses Commissions internationales.

La délégation française s'est attachée avec autant de tact que de fermeté à obtenir de la Conférence Mondiale de l'Energie, une délimitation des attributions des divers Comités et Conférences existants :

Le Comité Electrotechnique international (C.E.I.)

La Commission internationale des grands barrages (C.I.G.B.)

La Conférence internationale des réseaux à haute tension, dite Conférence des grands réseaux.

L'Union internationale des producteurs et distributeurs d'énergie électrique (U.N.I.P.E.D.E.)

Ces groupements ont en effet des programmes se confondant d'une façon plus ou moins complète avec celui de la Conférence Mondiale de l'Energie (W.P.C.) cette dernière s'occupant de l'énergie sous toutes ses formes : électrique, hydraulique, thermique, ou autres.

Les efforts de la Délégation Française ont abouti à consolider l'organisation des trois commissions françaises à objectif limité.

En ce qui concerne la *Commission des Grands Barrages*, il a été entendu que cette Commission agirait comme Rapporteur Général, pour rendre compte à Berlin des rapports présentés à Barcelone, lors de la session spéciale de la Conférence Mondiale de l'Energie, et que le rapport général relatif à la question des barrages, présenté à la session

plénière de Berlin, serait fait par un membre allemand de la Commission internationale des Grands Barrages.

La France et la plupart des autres pays se sont abstenus d'envoyer à Berlin des rapports sur les barrages, l'Autriche, la Norvège et la Tschécoslovaquie, ont seuls fait exception à cette règle.

En ce qui concerne la *Conférence internationale des réseaux à haute tension*, dont le programme était très voisin de celui de W.P.C., il a été décidé que le Comité d'organisation du W.P.C. s'entendrait immédiatement avec le Comité directeur de la Conférence des réseaux à haute tension, pour éviter que l'on ne discute des motions susceptibles de gêner cette dernière, et qu'à l'avenir on veillerait strictement à éviter les doubles emplois.

Cette entente sera rendue plus facile par le fait de l'adhésion de l'Allemagne à la Conférence des grands réseaux.

En ce qui concerne *l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Énergie Électrique*, on sait que les Allemands ont jusqu'ici refusé d'en faire partie, après avoir manifesté des velléités d'y entrer. Il semble qu'à la suite du Congrès de Berlin, un revirement se soit produit dans l'opinion allemande, et que de très nombreux distributeurs soient maintenant désireux d'adhérer à l'Union internationale des producteurs et distributeurs d'énergie électrique. Ce changement semble être dû en partie à l'intervention de l'ambassadeur américain M. Sackett, qui a déclaré que le prix de vente d'énergie électrique était beaucoup trop élevé dans son pays, puisqu'il représentait jusqu'à 15 fois le prix de revient. Les discussions auxquelles cette affirmation a donné lieu, et les protestations de la Délégation Américaine, semble avoir décidé les producteurs allemands à adhérer à l'Union internationale des producteurs et distributeurs d'énergie électrique, en vue d'une action commune.

Organisation matérielle.

L'organisation matérielle des conférences présentait une nouveauté fort intéressante par sa conception et sa réalisation, et si elle a enlevé, en fait, beaucoup de vie et d'animation aux réunions, elle n'en a pas moins constitué une tentative très curieuse pour faciliter les échanges d'idées. Pendant qu'un orateur parle en allemand, par exemple, deux interprètes traduisent ses paroles, l'un en anglais, l'autre en français, le troisième en espagnol, et transmettent leurs traductions chacun dans une ligne téléphonique.

Les auditeurs peuvent, soit écouter directement l'orateur, soit brancher un récepteur portatif placé devant chaque place, sur une des trois lignes, correspondant l'une à la langue française, l'autre à la langue anglaise, le troisième à la langue espagnole.

Malgré le réel talent déployé par certains interprètes, les seules traductions nettement intelligibles furent celles faites sur des textes connus d'avance. Le dispositif décrit ci-dessus convient, en effet, parfaitement pour la lecture d'un rapport ou d'un exposé, il est insuffisant pour permettre une discussion. — Il ne saurait d'ailleurs être question de discussion dans une réunion écrasée par l'abondance des questions et la multiplicité des orateurs.

J'ajoute que l'emploi autorisé de trois langues pour la rédaction des rapports, sans traduction préalable imprimée par les soins du Congrès, rend difficile et fatigante la participation effective au travail. Le sens d'une partie des communications demeure inconnu à la plupart des congressistes, dont bien peu sont à même de comprendre réellement trois langues différentes. Il semble que l'unité de langue soit de plus en plus désirable et qu'il soit pratiquement impossible d'arriver à un bon résultat avec plus de deux langues.

OUVRAGES OFFERTS A LA SOCIÉTÉ

Production

— **L'utilisation de l'Energie des Marées en France**, par G. Moreau. Edité par la Librairie Delagrave, 15, rue Soufflot, à Paris. Un ouvrage de 25×16cm, 99 pages, 10 figures, 1931. — *Don des Editeurs.*

— **Induction Motor**, par F.-T. Chapman. Edité par Chapman et Hall's, à Londres. Un ouvrage de 25×15cm, 289 pages, 25 figures, 1930. — *Don des Editeurs.*

Télégraphie. — Téléphonie

— **Electrical artificial Lines and Filters**, par B.-A. Bartlett. Edité par Chapman et Hall's, à Londres. Un ouvrage de 22×14cm, 67 pages, 160 figures, 1930. — *Don des Editeurs.*

— **Telegrafia Sottomarina (Cablographia)**, par Italo de Giuli. Edité par Urico Hœpli. Un ouvrage de 15×10cm, 384 pages, 146 figures, 1931. — *Don des Editeurs.*

— **Transmission Networks and Wave Filters**, par M.-S. Shea. Edité par Chapman et Hall's, à Londres. — Un ouvrage de 24×15cm, 470 pages, 263 figures, 1930. — *Don des Editeurs.*

Annuaires. — Commémoration

— **Le cinquantenaire de l'Institut national agronomique**, 27, 28, 29 juin et 1er juillet 1929. Un volume, 158 pages. Editeur : Association amicale des anciens élèves de l'Institut agronomique, 5, quai Voltaire. — *Don de l'Editeur.*

— **Rensselaer Polytechnic Institut**, bulletin catalogue, 1930. Editeur : Polytechnic Institute troy. New-York. Un volume, 398 pages. — *Don de l'Editeur.*

Formulaires

— **Les Aciéries de Longwy (1880-1930)**. Publié et édité par la Société des aciéries de Longwy, à Mont-Saint-Martin (Meurthe-et-Moselle), France. Un ouvrage de 32×24cm, 188 pages, 447 figures, 1930. — *Don des Editeurs.*

— **Vorschriften des Elektrotechnicky Svaz Ceskoslovensky**, de 1930, traduction Predpisy. Elektrotechnikeho Svazu Ceskoslovenskèho, 1930. Editeur : Prazska Akciova Tiscarna. Deux volumes, un en tchécoslovaque, un volume en allemand, 21×14cm, 264 pages. — *Don de l'Auteur.*

BIBLIOGRAPHIE DES OUVRAGES OFFERTS

Erratum au *Bulletin* de décembre 1930. — L'Appareillage électrique, par LAGRON. *Lire :* Prix, 36 francs, *au lieu de* 70 francs.

PRODUCTION

Etude sur l'Utilisation de l'énergie des Marées en France, par GEORGES MOREAU, Doyen de la Faculté de Rennes, un volume broché de 25 × 16,5 cm, de 102 pages, de 30 figures, 1931. Edité par la Librairie Delagrave, 15, rue Soufflot, à Paris.

M. G. Moreau, Doyen de la Faculté des Sciences de Rennes, a réuni dans cette étude les conférences qu'il a faites sur l'utilisation des marées, devant un auditoire composé en majeure partie d'étudiants.

Après avoir donné quelques indications générales sur les marées et rappelé dans un court exposé l'historique de la question, l'auteur étudie les différentes solutions qui peuvent être envisagées : Installations à production discontinue utilisant un bassin de marée unique, installations à production continue avec bassins associés ou conjugués et avec réservoirs de secours.

On trouvera ensuite un exposé très complet des différents cycles d'utilisation des marées.

Enfin, après avoir rappelé les principes d'établissement des usines proprement dites, l'auteur passe en revue les principales installations qui pourraient être envisagées en Bretagne et dans la Somme où plusieurs baies se prêteraient particulièrement bien à un aménagement.

APPLICATIONS MÉCANIQUES

A Study of the Induction Motor, by F. T. CHAPMAN, D. Sc. (Eng.) Lond. M. S. E. E. Assoc. M. Inst. C. E., un volume relié de 25 × 16,5 cm, de 289 pages, de 5 figures, 1930. CHAPMAN and Hall's. Editeurs. Prix 21 s. net.

Dans cet ouvrage, luxueusement édité comme le sont les livres anglais, l'auteur a particulièrement étudié le champ dans l'entrefer des moteurs d'induction et montré que dans les conditions normales de fonctionnement, seul l'harmonique principal de ce champ a pratiquement de l'importance dans le transfert de la puissance du primaire au secondaire.

Partant de ces considérations il donne une définition nouvelle des coefficients de dispersion des enroulements et indique une méthode de calcul de ces coefficients.

Plusieurs chapitres sont consacrés aux moteurs d'induction monophasés, aux moteurs asynchrones synchronisés et aux moteurs à double cage. L'auteur y traite également avec quelques développements, des moteurs à vitesse variable par changement du nombre de pôles du stator et donne un diagramme circulaire pour le cas des moteurs en cascade.

Deux chapitres sont consacrés à l'étude du champ magnétique dans lesquels l'auteur a examiné les effets de la saturation.

En fin d'ouvrage on trouvera un exemple d'application pratique des méthodes précédemment exposées.

L'étude de M. F. T. Chapman intéressera particulièrement les constructeurs.

ECLAIRAGE

L'éclairage par projecteurs, un volume de 21 × 14 cm, de 117 pages de 86 figures, 4 planches, 1931. Société pour le perfectionnement de l'éclairage, 134 boulevard Haussman, Editeurs.

L'éclairage par projecteurs dont les premières applications artistiques encore récentes ont intéressé le grand public, prend de jour en jour un développement plus important dans le domaine industriel (éclairage des voies de triage et des chantiers, notamment). Il faut donc savoir gré à la Société pour le perfectionnement de l'Eclairage d'avoir condensé dans cette brochure avec la description et l'étude des appareils, des exemples de réalisations particulièrement réussies. Le technicien trouve en outre dans cette brochure tous les renseignements nécessaires à l'étude complète d'une installation par projecteurs, ainsi qu'une série de planches et de tableaux facilitant ses calculs et le guidant dans son choix.

ELECTROCHIMIE

Electrothermie appliquée. (Encyclopédie de Chimie industrielle, Directeur M. MATIGNON) par G. FLUSIN, professeur à la Faculté des Sciences de Grenoble, Directeur de l'Institut d'Electrochimie et d'Electrométallurgie. Un volume 1930 de 22.5 × 15.5 cm. de 370 pages, 100 figures, Librairie J.-B. BAILLIÈRE et Fils, 19, rue Hautefeuille, à Paris.

Les bons ouvrages traitant de l'électrochimie et de l'électrométallurgie sont rares, surtout en France où les industriels aiment peu la publicité technique. Aussi devons-nous signaler spécialement le livre de M. Flusin dont paraît maintenant le premier volume. Il renferme une documentation complète et détaillée, amassée par son auteur pour ses cours à l'Institut de Grenoble, et le fruit de longs travaux scientifiques et industriels.

Cet ouvrage comprend deux parties. Dans la première, consacrée aux calculs électrothermiques, l'auteur rappelle tout d'abord les notions essentielles de thermochimie et de métallurgie ; la formation des laitiers, leur nature et leur rôle, leurs propriétés sont longuement examinées. Le calcul de la charge, traité de façon claire et précise, conduit à l'estimation de l'énergie électrique nécessaire, à la détermination des pertes de toute nature et du rendement. De nombreuses applications et des exemples numériques sur des réactions types seront utilement suivis dans tous les autres cas.

La deuxième partie, abondamment illustrée, constitue une description étendue du rôle joué par le carbone en électrothermie ; les diverses variétés du carbone employées sont passées en revue et leurs propriétés analysées. Puis viennent les électrodes en charbon des diverses espèces, dont la préparation est minutieusement exposée avec les propriétés physiques, chimiques et mécaniques des différentes qualités, le choix à faire selon les fabrications envisagées. Le dernier chapitre de ce volume est consacré à l'obtention du graphite artificiel, à la graphitation et aux électrodes de graphite.

Electrolytic Conduction by F. H. NEWRMAN. Professor of Physics University College, of the South-West of England, Exeter, un volume de 23×15 cm de 441 pages, de 71 figures, de 67 tableaux ; Prix 25 francs net. Edité par Chapman and Hall's, Centenary Year.

Cet ouvrage constitue un exposé très détaillé de la théorie de la conductibilité des électrolytes, considérée du point de vue physique.

Après avoir rappelé les principes essentiels de la thermodynamique, l'Auteur examine tout d'abord les lois fondamentales de l'électrolyse, la conductibilité des solutions électrolytiques et la migration des ions.

Les forces électromotrices de polarisation, l'électro-capillarité, la mesure des résistances des électrolytes et les diverses théories de l'électrolyse font ensuite l'objet de développements très complets.

Après un dernier chapitre, consacré aux applications techniques de l'électrolyse, un appendice résume la théorie de la migration des ions dans les solutions électrolytiques.

TRACTION

Contribution à la traction électrique par accumulateur par C. CHALUMEAU, Ingénieur des Arts et Manufactures (extrait des Mémoires de la Société des Ingénieurs civils de France) un volume de 70 pages, 14 figures, de 24×15,5 cm.

Dans cette brochure de 69 pages (extraite des mémoires de la Société des Ingénieurs civils de France) l'auteur, après quelques généralités brièvement rappelées, expose les résultats obtenus par l'emploi d'autobus à accumulateurs adoptés par la ville de Lyon.

L'auteur examine successivement la construction des véhicules (dont l'équipement fait l'objet d'une description détaillée et illustrée), leurs conditions d'utilisation, ainsi que l'organisation des services accessoires que comporte ce moyen de transport.

Il termine par des considérations générales, à la fois techniques et économiques sur l'intérêt et les avantages que présente ce mode de locomotion, sur ses possibilités d'extension et sur son avenir.

Télégraphie. — Téléphonie

Übertragungs Technik, par R. Winzheimer, Directeur des Télégraphes au Service Central des Postes du Reich, un volume de 17 × 25 cm. de 233 pages de 207 figures, Mühen und Berlin 1929, Verlag von R. Oldenbourg, Editeurs.

Ce livre traite de la technique des transmissions radiotéléphoniques. C'est un ouvrage établi pour les cours de l'Ecole Supérieure de Munich. On y recherche les analogies entre les courants ordinaires, en particulier les courants alternatifs, et les phénomènes des transmissions radiotéléphoniques. Les rapports existant entre les phénomènes acoustiques et électriques y sont également étudiés.

Les différents chapitres traitent :

1° Des principes généraux d'acoustique et d'électricité utilisés dans les circuits de transmission.

2° De la théorie des lignes téléphoniques.

3° Des dispositifs d'amplification.

4° De l'emploi des amplificateurs dans les réseaux et des stations amplificatrices.

5° Des dispositifs de mesures dans les stations amplificatrices.

6° Des réseaux radiotéléphoniques et des lignes de transmission qui y sont reliées.

7° Des câbles téléphoniques à longue portée.

8° Des dispositions de principe des installations d'émission et de réception et de leurs liaisons avec les installations téléphoniques à fils.

Manuale Pratico de Telegrafia Sottomarina (Cablografia) par Ing Stalo de Giuli, Direttore centrale della Comp. Stal. dei Cavi Telegrafici Sottomarini, un volume de 15,5 × 11 cm, de 384 pages, 146 figures et 26 tableaux hors-texte. 1931. Ulrico Hoepli, Milano, Editeurs.

Cet ouvrage, bien édité, illustré de nombreux tableaux et planches hors texte a été écrit dans un but didactique. L'auteur, chargé de la formation du personnel d'exploitation des stations de télégraphie sous-marine, n'ayant pas trouvé dans les publications, tant italiennes qu'étrangères, une étude satisfaisante des appareils modernes et un exposé pratique de la question s'est proposé de combler cette lacune.

Il montre comment on contrôle la transmission et la réception des signaux télégraphiques par câbles sous-marins et indique les règles à suivre pour le montage et l'exploitation des stations de câblogrammes.

L'ouvrage fait abstraction des théories purement scientifiques et se limite à la description et au fonctionnement des appareils les plus généralement utilisés dans le monde.

Recherches. — Mesures

Abhandlungen zur Wellenmechanik, par E. Schrödinger ord. Professor der Theoretischen physik an der Universität Berlin, un volume broché de 24,5 × 16,5 cm. de 198 pages, de 14 figures, 1928. Verlag von Johann ambrosius Barth, Leipzig, Editeurs.

Dans cette brochure, l'auteur a rassemblé un certain nombre de communications qu'il a faites aux *Annales de Physique* sur la mécanique ondulatoire et de la théorie des quanta. Il examine les rapports entre ses propres théories, dont l'idée première revient à de Broglie et à Einstein, et celles de Heisenberg, Born, Jordan et Dirac. Le lecteur trouvera, dans ce traité, de nombreux développements mathématiques et l'interprétation physique des résultats obtenus.

Annales de l'Institut Henri Poincaré (Recueil de conférences et mémoires de calcul des probabilités et physique théorique un volume de 28,5 × 19,5 cm. de 73 pages. Editées par les Presses Universitaires de France, 49 boulevard Saint-Michel à Paris.

E. Einstein, *Théorie Unitaire du Champ Physique*

L'auteur expose et analyse une nouvelle théorie de la relativité générale en réunissant dans une discipline unique les théories du champ électro-magnétique et du champ de gravitation. Il reconnait toutefois que cette nouvelle théorie n'est qu'un édifice mathématique et que pour pouvoir vérifier expérimentalement les prévisions théoriques, il y aurait lieu tout d'abord de chercher une solution correcte du problème des particules et de leur mouvement.

C.-G. Darwin, *La Théorie ondulatoire de la matière*

Dans le conflit actuel qui met aux prises la théorie des ondes et la dynamique générale des particules, au sujet de la théorie des quanta, l'auteur indique ses préférences pour insister sur l'aspect ondulatoire de la théorie au détriment de son aspect dynamique, espérant parvenir de cette manière à un juste milieu entre les deux.

E. Fermi, *La Théorie du rayonnement*

L'auteur fait un exposé mathématique très poussé de la théorie du rayonnement, en examinant les relations entre le rayonnement lumineux et un électron capable d'émettre ou d'absorber de la lumière.

Il assimile la radiation électromagnétique à une corde pouvant effectuer des oscillations transversales et l'électron à un pendule relié à un point de la corde par un fil très élastique et très léger.

L'électro-acoustique, Rapports de l'acoustique moderne et de l'Electricité par Pierre David, Docteur ès science, Ingénieur au laboratoire national de Radio-Electricité un volume de 25,5 × 16,5 cm de 40 pages 1930, Librairie scientifique Herman et Cie, 6, rue de la Sorbonne, à Paris. Prix 5 fr.

Le conférencier montre que la connaissance de l'acoustique est nécessaire à toute une branche de l'électricité et qu'inversement, l'électricité apporte des ressources nouvelles à l'acoustique pour la mesure, l'analyse et la reproduction des sons. En particulier le phonographe mécanique dont les moyens étaient limités pour l'enregistrement et la reproduction, voit sa puissance amplifiée indéfiniment, grâce à l'emploi de l'électricité et surtout de la lampe triode.

Il mentionne en terminant que l'électricité peut produire directement des sons et permet de réaliser une *source de son* étalon de grande précision.

Erreurs et moindres carrés par R. Deltheil, professeur à la Faculté des Sciences de Toulouse, un volume de 161 pages, de 25,5 × 16,5 cm, 1930, Gauthier-Villars et Cie Editeurs. 55, quai des Grands-Augustins à Paris (hommage de l'Editeur).

L'ouvrage de M. Deltheil constitue un fascicule de l'important « Traité du Calcul des Probabilités et de ses applications » publié par M. Emile Borel.

Dans une première partie l'auteur expose des principes généraux sur la probabilité des causes, les lois de probabilité à une variable, le problème des moments, les fonctions caractéristiques d'une loi de probabilité, puis envisage le problème général des erreurs d'observation.

Dans une seconde partie il étudie la loi de Gauss, la fonction Θ et la courbe en cloche ; il montre comment on peut justifier cette loi par la méthode des moments et par celle des fonctions caractéristiques et rattacher à la théorie de Gauss le principe de la moyenne arithmétique.

Dans une dernière partie l'auteur expose la méthode des moindres carrés en se plaçant successivement dans le cas d'observations directes et d'observations indirectes. Il en fait différentes applications en donnant le schéma pratique de disposition des calculs.

En fin d'ouvrage se trouve une table des valeurs de la fonction Θ

Forschung und Technik, im auftrage der allgemeinen elektricitats Gesellschaft, par W. Petersen. professor dr: Ing. dr.Ker Pol. E. H. un volume relié de 30 × 22 cm, de 576 pages, 597 figures, 1930, Edité par Verlag von Julius Springer.

Dans cet ouvrage, M. W. Petersen a rassemblé les comptes rendus des travaux les plus récents des ingénieurs de l'A. E. G. dans les différents domaines de l'Electrotechnique.

Le lecteur y trouvera en plus de nombreux développements théoriques avec schémas, courbes, graphiques et résultats d'expériences du plus grand intérêt ainsi qu'une documentation très complète sur les questions les plus nouvelles relatives à l'Electricité.

Les ondes électriques, de très courtes longueurs et leurs applications par C. Gutton. Correspondant de l'Institut, professeur à la Faculté des Sciences de Nancy. Un volume de 25,5 × 16.5 cm de 20 pages 1930 Librairie scientifique Hermann et Cie 6, rue de la Sorbonne à Paris Ve, Prix 4 frs.

Après avoir rappelé les conditions de fonctionnement des oscillateurs à ondes longues, l'auteur s'occupe des recherches entreprises en vue d'augmenter la fréquence des oscillateurs à lampes triodes et des différents procédés qui permettent d'obtenir des ondes dont la longueur est comprise entre quelques mètres et la limite inférieure, 0,10 m environ, qu'il n'a pas été possible de dépasser.

Il rend compte des expériences qu'il a faites sur l'oscillateur de M. Ditte, signale les perfectionnements apportés par M. Mesny et termine par la description de l'oscillateur de Barkhausen.

Nouveau réseau magnétique de la France au 1er janvier 1924. — Distribution générale des éléments magnétiques en France, par E. Mathias, Ch. Maurain, et L. Eblé, un volume broché de 31 × 24.5 cm. de 62 pages. 1 carte. 1930. Edité par les Presses Universitaires de France, 49. boulevard Saint-Michel.

On trouvera dans ce mémoire, d'une part, les formules permettant de calculer, en fonction de la longitude et de la latitude, les éléments du champ magnétique terrestre (Déclinaison, inclinaison, composante horizontale, composante Sud-Nord, composante Est-Ouest, composante verticale et force totale) et d'autre part une succession de tableaux indiquant pour chacune des stations expérimentales réparties sur toute la France, les différences entre les valeurs observées et les valeurs calculées pour chacun de ces éléments.

Phénomènes diélectriques dans la Technique des Hautes-tensions, par F. W. Peek Jr. Traduit par Robert Akermann. un volume de 25×16.5 cm, de 316 pages, de 209 figures. de 84 tableaux, 1 appendice, — 1924 — Edité par la Librairie Delagrave, 15, rue Soufflot, à Paris, Ve. Hommage de l'Editeur.

L'auteur, après avoir rappelé dans les deux premiers chapitres les propriétés du champ électrique considérées du point de vue mathématique, aborde l'étude du rôle diélectrique de l'air. Il consacre d'abord un chapitre à l'effet de couronne et met en évidence les différents facteurs qui influent sur ce phénomène, puis il étudie la décharge disruptive en analysant l'influence sur la valeur de la tension d'amorçage, de la forme et de la nature des électrodes, de la pression, de la tem-

pérature et enfin de la fréquence ; à ce sujet il décrit le générateur d'impulsion ou de foudre qui lui permit de reproduire et d'étudier les ondes à front raide et les oscillations haute fréquence. Il expose dans le 3e chapitre les recherches qu'il a entreprises pour déterminer les conditions dans lesquelles se produisent les pertes par effet de couronne sur les lignes H. T. Ce chapitre est particulièrement intéressant du fait que les méthodes suivies pour l'exécution des essais et la mise en équation des résultats sont susceptibles de généralisation et peuvent être appliquées avec fruit à d'autres recherches.

Les deux chapitres suivants sont consacrés à l'étude des diélectriques liquides et solides. Après avoir résumé brièvement la théorie électronique, l'auteur donne ensuite la conclusion pratique des considérations théoriques qui ont fait l'objet du début du livre. Il indique en particulier les conditions dans lesquelles les calculs relatifs à l'effet de couronne peuvent être effectués ainsi que les précautions à prendre dans la construction des appareils comprenant des isolants solides, liquides et gazeux (interrupteurs dans l'huile, transformateurs).

Le dernier chapitre constitue un appendice dans lequel sont indiqués les résultats des différentes mesures effectuées pour déterminer les pertes par effet de couronne.

Ce livre, dont la première édition remonte à 1915, est le premier dans lequel le rôle des diélectriques ait été exposé aussi complètement ; il est en quelque sorte devenu classique et il constitue la base sur laquelle s'appuient la plupart des études effectuées depuis sur ce sujet.

La traduction est remarquablement claire tout en serrant de très près le texte anglais.

X —Ray Technology, the production, measurement and applications of X —rays par H. M. Terril, Ph. D. Associate in Physics, Institue of Cancer Researh and C. T. Ulrey, Ph. D. Researh Physicist, Westinghouse Lamp. Company, un volume relié de 24×16,5 cm. de 256 pages, de 143 figures, 1930 — Chapman and Hall's, Editeurs. Prix 32 s. net.

Cet ouvrage, luxueusement édité et illustré de nombreuses gravures et photographies constitue une documentation détaillée et précise sur la production, l'utilisation, la mesure et les propriétés des rayons X.

Après un chapitre préliminaire consacré à l'étude du rayonnement thermoionique, l'auteur examine successivement la fabrication des tubes à rayons X, puis leur utilisation et les précautions qu'elle comporte.

La production des tensions élevées nécessaires pour l'alimentation de ces tubes, leur mesure ainsi que celles des intensités débitées et des longueurs d'onde des rayonnements émis, font ensuite l'objet de développements détaillés.

Les derniers chapitres sont consacrés aux propriétés photochimiques des rayons X et à leur analyse spectrale.

Sur la relation courant-température dans les filaments pyrométriques de tungstène, par M. G. Ribaud, Laboratoire de Pyrométrie de la Fondation Edmond de Rothschild, Institut de physique de Strasbourg, un volume broché de 27 × 18,5 cm, de 11 pages, 2 figures, 1930 Extrait de « le Journal de physique et le Radium ». Hommage de l'auteur.

Dans cette note l'auteur étudie les particularités présentées par les courbes courant-température des filaments de tungstène placés dans le vide dans le cas des filaments longs et dans le cas des filaments courts ; il établit la forme générale de ces courbes et montre que les calculs effectués à partir de ces courbes sont en accord quantitatif avec les mesures directes.

Température des flammes, rayonnement des gaz incandescents et des flammes, par G. Ribaud, Professeur à la Faculté des Sciences de Strasbourg, Directeur du Laboratoire de Pyrométrie de la fondation Edmond de Rothschild, un volume broché de 25 × 16 cm. de 43 pages, de 3 figures, 2 tableaux, 1930, Librairie Scientifique Hermann et Cie, 6 rue de la Sorbonne, Paris, Editeurs. Hommage de l'auteur.

Cette brochure reproduit 2 conférences faites par l'Auteur au Conservatoire national des Arts et Métiers.

Dans la première, il examine successivement la constitution des flammes, le

calcul thermodynamique de leur température, les divers procédés employés pour mesurer cette température aux divers points de la flamme et enfin l'influence de la proportion des gaz dans les flammes.

La deuxième conférence est consacrée à l'étude du rayonnement des gaz incandescents et des flammes : l'Auteur y examine en particulier l'influence de l'introduction de particules solides, sur le pouvoir émissif des flammes et le rendement des fours à flammes.

Mécanique rationnelle

Résolucion de Vigas Armados, par Humberto Meoli, Para oftar al titulo de docente libre, un volume de 17 × 27 cm. de 55 pages, de 15 figures, 5 tableaux 1930. Buenos-Aires, Imprenta de la Universidad.

Cette thèse comporte deux parties.

La première traite de la Solution générale ; elle comprend d'abord des généralités, avec représentation schématique du système, choix de l'inconnue hyperstatique, appel au principe de Menabrea-Castigliano, puis l'établissement de l'équation générale de la ligne d'influence, avec un résumé et un exemple.

La deuxième partie montre l'application à des cas particuliers : Poutre armée avec une contrefiche, poutre armée avec deux contrefiches (symétrique), poutre armée avec trois contrefiches (symétrique).

Statistiques. — Commémorations

Les Industries électriques, par J. H. Adam. Une brochure 16 × 25 cm. 24 pages. Extrait de la Revue Economique. Librairie du Recueil Sirey, 22, rue Soufflot, Paris.

Dans ce remarquable travail que l'auteur, en sa qualité de secrétaire général de la Compagnie Parisienne de Distribution de l'Electricité, était particulièrement indiqué pour mener à bien, étudie les développements pris, depuis 1913, par les industries productrices de courant d'une part, et par les industries constructrices de l'autre. Parmi une foule de renseignements statistiques du plus haut intérêt, il montre que, pour les premières, en 1929, les capitaux investis atteignaient 10 milliards de francs, la puissance installée de 7 millions de kilowatts, l'énergie produite 15 milliards de kilowattheures, le charbon consommé 10 millions de tonnes. Dans la région parisienne, en 1929, la consommation annuelle a atteint 266 kWh par tête d'habitant, en augmentation de 10 % sur l'année précédente. Ce développement est d'ailleurs général dans toute la France.

L'auteur donne quelques détails sur l'interconnexion des réseaux français qui a apporté un si fort appoint pour le maintien de la sécurité des distributions mais qui a nécessité l'unification des fréquences sur la presque totalité du territoire. Il indique brièvement les résultats de l'électrification des campagnes ; en 1918, 7.000 communes seulement étaient électrifiées ; au début de 1930, il y en avait 28.000. L'opération aura été ainsi menée plus rapidement en France que dans tout autre pays étranger.

Passant ensuite aux sociétés de construction, l'auteur montre qu'elles ont réalisé en 1929 une production de 4 milliards de francs, chiffre qu'elles n'avaient encore jamais atteint ; elles ont employé environ 100.000 ouvriers et fait fructifier 2 milliards et demi de capitaux. Mais leurs perspectives actuelles ne sont pas des plus brillantes. La hausse des prix de revient freine de plus en plus l'exportation et l'importation étrangère va croissant : elle a atteint, en 1929, 630 millions de francs alors que l'exportation n'a pas dépassé 450 millions, soit le dixième de la production française ; en regard, depuis deux ans, les exportations allemandes ont progressé de 50 % et les américaines de 37 %. C'est là une conséquence de la réorganisation de notre statut douanier en 1928. M. Lambert-Ribot, en signalant cette situation inquiétante, invite les constructeurs français à abaisser leurs prix de revient en rationalisant leur industrie et espère que l'Etat saura les encourager par l'octroi de dégrèvements fiscaux devenus indispensables.

Mémoire du Conseil de la Faculté technique Zagreb, un volume de 29,5 × 21 cm, de 1193 pages, nombreuses figures.

Le conseil de la Faculté technique de l'Université Royale Yougoslave de Zagreb a publié cet ouvrage commémoratif de sa fondation, qui eut lieu dix années auparavant.

La première partie rappelle les conditions de cette fondation. L'école fut créée et se développait sous le nom de : « Haute école polytechnique ». En 1926 elle fusionnait avec l'Université de Zagreb, et depuis ce temps elle porte le nom de Faculté technique. Elle a huit sections qui délivrent le diplôme d'ingénieur. L'enseignement est à la fois théorique et pratique et dure huit semestres. Les huit sections sont consacrées aux enseignements ci-après :

Architecture, bâtiments, géodésie, machines, électricité, constructions navales, machines nautiques, chimie. Des tables indiquent les cours et conférences que chaque étudiant doit suivre pendant les huit semestres. Le diplôme de bachelier est exigé pour l'inscription. Des photographies montrent les laboratoires.

La deuxième partie du livre reproduit des travaux scientifiques faits par les professeurs. De très intéressantes notices rappellent la vie, les travaux et les inventions du Yougoslave Nikola Tesla qui est Dr. ing. honoraire de la Faculté technique de Zagreb.

FORMULAIRES. — AGENDAS

Agenda Béranger 1931, un volume de 14×10 cm. Edité par la Librairie Polytechnique Ch. Béranger, 15, rue des Saint-Pères, à Paris.

Les Editeurs de l'Agenda Beranger, fidèles au programme qu'ils se sont imposé à l'origine, présentent aux techniciens de tous ordres un aide-mémoire traitant des différentes branches de l'art de l'ingénieur et de la législation industrielle.

L'édition précédente est complétée par de nouveaux renseignements concernant certaines dispositions législatives, les opérations de banque, les travaux publics, la mécanique et l'électricité

Les derniers chapitres consacrés à l'automobile et à l'aviation ont fait l'objet d'additions intéressantes.

Agenda Dunod 1931 Electricité (aide mémoire pratique de l'électricien) par L. D. FOURCAULT, Rédacteur en chef de « l'Electricien » 50e Edition, un volume relié de 10 × 15 cm, XXXII, 512 pages, 130 figures, 1931, Prix 20 francs. Dunod. 92 rue Bonaparte, à Paris, Editeurs.

Le praticien de l'électricité (ingénieur, entrepreneur, exploitant, monteur, contremaître) ne peut se dispenser de posséder un aide-mémoire qui lui fournisse des formules et des chiffres immédiatement utilisables dans la pratique. L'Agenda Dunod « Electricité » dont l'édition 1931 vient de paraître, répond admirablement à ce but.

Elégamment relié, susceptible par son format d'être placé dans la poche, il contient, à côté de tableaux et d'exemples de calculs, une documentation abondante et soigneusement tenue à jour des progrès de la technique. On y trouve un rappel des formules et symboles usuels et des unités de mesure, l'étude des phénomènes magnétiques, électrostatiques, électromagnétiques, calorifiques et lumineux. Après un exposé du système photométrique et des méthodes modernes d'éclairage sont traitées toutes les questions intéressant la production, le transport, la transformation et la distribution de l'énergie électrique. Des chapitres d'éclairage, sont traitées toutes les questions intéressant la production, le trans à ses applications, aux conditions de réception des machines électriques, à la radiotélégraphie et à la radiotéléphonie, enfin à la législation et à la réglementation technique de l'électricité.

Cette nouvelle édition renferme parmi d'autres additions, des renseignements nouveaux sur le chauffage des locaux, la longueur des fusibles, le moteur Boucherot à double cage d'écureuil, etc...

Agenda Dunod 1931, Physique Industrielle, par J. Izart, Ingénieur Conseil 11e Edition, un volume de 10 × 15 cm, XXXIII, 532 pages, 149 figures 1931, Relié pégamoïd, 20 francs. Dunod, 92, rue Bonaparte, à Paris 6e Editeurs.

Sous un format pratique, l'Agenda Dunod « Physique industrielle » condense une abondante documentation ; il fournit aux techniciens de la chaleur et du froid, aux constructeurs, aux industriels, aux ingénieurs, aux contremaîtres, des tableaux, des formules, des exemples de calculs, des renseignements pratiques immédiatement utilisables sur toutes les questions qui les intéressent :

Unités et mesures, température, pressions, densités, concentration, énergie, poids atomiques ; chaleur, transmission, échange ; propriétés et mélanges des gaz et vapeurs, hygrométrie, séchage, évaporation, condensation. Mouvement des liquides, mesures des débits, pertes de charge, pompes, mouvement des gaz sous faible pression, ventilateurs, mouvement des gaz sous pression, air comprimé, froid, combustion, foyers, contrôle de la combustion, générateurs de vapeurs, économiseurs, surchauffeurs, moteurs à vapeur et condenseurs, gazéification et moteurs à combustion interne, éclairage, chauffage et ventilation.

L'édition 1931 qui vient de paraître contient d'intéressantes additions sur l'éclairage et la photométrie ; les chapitres sur les gazogènes ; les moteurs à combustion interne, le chauffage et la ventilation ont été entièrement remaniés.

Vorschiften des Elektrotechniky Svaz Ceskoslovensky 1930, traduction de Predpisy Elektrotenickeho Svaz Ceskoslovenského 1930. Editeur Prazska akciova Tiscarna 2 vol. 1 en tchécoslovaque, l'autre en allemand, de 21 × 14 cm, de 264 pages. Dons de l'auteur.

Les Comités d'Etudes de l' « Elektrotechnicky svaz ceskoslovensky » (ESC, Union Electrotechnique Tchécoslovaque) à Prague, Tchécoslovaquie, travaillent depuis 1919 au champ de la normalisation électrotechnique, en préparant des « Prescriptions » qui contiennent notamment des règles de sécurité et sont autorisées par l'Etat, et des « Normes » qui spécifient en outre des dimensions, grandeurs et autres propriétés unifiées et sont adoptées par l'Association Tchécoslovaque de Standardisation.

Les trois volumes des Prescriptions et Normes de l'ESC ont été édités en 1920, 1923 et 1925. Depuis ce temps, les nouvelles normes sont éditées séparément ; les « Prescriptions » revisées et complétées ont paru récemment dans un volume « Frodpisy ESC 1930 » qui contient toutes les règles électrotechniques de sécurité actuellement valables en Tchécoslovaquie, concernant Unités et Symboles, Machines, Appareils, Conducteurs, Eclairage, Installations d'Immeubles, Canalisations Aériennes, Service et Entretien, Installations Spéciales, Installations des Mines, Traction, Croisements, Installations des Stations et des Ateliers, Installations Electro-médicales, Installations privées à courant faible et Radio ; sont ajoutées : Règles Internationales de la C. E. I., Lois et Arrêtés importants, Terminologie Unifiée, Marques des Fabriques Tchécoslovaques.

Les Prescriptions ont été préparées par des Comités d'Etudes de l'ESC : 6 ministères, 33 autorités, écoles et corporations, 26 entreprises de production et de distribution d'énergie électrique, 42 usines électrotechniques et 295 membres individuels de l'ESC ont participé à cette tâche.

Enseignement et Divers

Cours de mécanique professé à l'Ecole Polytechnique, par MM. Painlevé et Platrin, 1929. Un volume de 28 × 22,5 cm. 640 pages, Editeurs Gauthier-Villars et Cie 55, quai des Grands-Augustins, à Paris, 6e.

Ce cours fait suite au cours de première année déjà paru. La première partie traite de la mécanique des corps solides indéformables. En outre des exposés classiques, on y trouve d'intéressants développements sur le phénomène gyroscopique et le mouvement des projectiles. La deuxième partie traite la mécanique des fluides, et comprend des aperçus sur ses applications pratiques aux

turbines, au repérage par le son, à la formation de la houle, etc. La troisième partie traite de l'élasticité et de ses rapports avec les théories de la résistance des matériaux.

La quatrième partie de cet ouvrage comprend des exposés sommaires théoriques sur les applications des principes précédents aux machines et à l'aviation. On y trouve un chapitre consacré au vol sans moteur. Enfin la dernière partie traite des questions de la relativité : Mécanique de Newton, mécanique d'Einstein, lois de la gravitation.

Index Generalis, annuaire général des Universités, publié sous la Direction de R. de MONTESSUS de BALLORE, Docteur ès-sciences, Lauréat de l'Institut. Un volume de 13,5 × 19 cm, de 2280 pages, 1928-1929. « Editions Spes », 17, rue Soufflot, à Paris, 5e.

Cet ouvrage, visant le monde entier, donne, suivant la préface même de M. P. Appell : « un tableau complet, constamment remis à jour, de l'Université nouvelle et des divers instruments de travail qui s'offrent aux savants ».

Il comprend les parties suivantes :

Universités et Grandes Ecoles, avec l'indication, pour chaque pays, de l'organisation du haut enseignement, l'organisation de chaque établissement, la liste du personnel enseignant ;

Observatoires astronomiques, avec l'indication pour chacun d'eux de son emplacement, de son directeur, de ses publications, de ses instruments, de ses travaux ;

Bibliothèques et archives avec l'indication des emplacements, de la nature, des documents dont elles disposent, de leurs ressources ;

Intituts scientifiques, avec des indications sur leur activité, leurs moyens de travail, etc ;

Sociétés savantes, Académies, classées par nature d'activité ;

Listes d'échanges, Tables.

IL Y A TRENTE ANS

Réunion ordinaire mensuelle du 6 Février 1901

Présidence de M. E. Mascart

Des 11 membres élus dans cette séance nous comptons encore parmi nous, MM. Bouger (R. L. M.), Gasquet (Roger), Girard de Vasson (Jean), Villard (Paul).

M. P. Janet fait une communication sur *les compteurs à l'Exposition de 1900*.

La communication de M. P. Janet est une étude d'ensemble très complète sur les compteurs d'énergie électrique à cette époque ; cette étude est divisée en trois parties : Les compteurs moteurs, les compteurs oscillants, les compteurs à intégration discontinue.

Dans la classe des compteurs moteurs, M. Janet décrit :

a) Les compteurs fondés sur le principe du wattmètre à deux bobines, dont le plus connu est le Compteur Thomson, duquel dérivent tous les autres (compteurs Lux, Vulcain, Schuckert Perdrisat, Peloux). Il présente le premier exemplaire du compteur Desroziers, décrit dès 1889 par M. Potier, et dans lequel on retrouve les principaux caractères du compteur Thomson. L'emploi de ce compteur en courant alternatif, avec le dispositif Frager, est expliqué simplement et complètement ;

b) les compteurs fondés sur le principe de Ferraris, exclusivement réservés aux courants alternatifs, constituant la plus grande nouveauté de l'Exposition de 1900 en ce qui concerne les compteurs ; M. Janet expose la théorie générale de ces compteurs, puis indique les points particuliers à chacun d'eux : Compteurs Blathy, Hummel, Hélios, Raab, Hartmann et Braun, Siemens, Batault.

c) Les compteurs moteurs triphasés (compteur de la Compagnie pour la fabrication des compteurs, de la Compagnie anonyme continentale, de la Compagnie Générale d'Électricité de Creil) ; ces derniers font l'objet d'un exposé mathématique très intéressant.

Le fonctionnement des compteurs oscillants, dont le plus connu est le compteur Aron, est ensuite clairement exposé.

Enfin les compteurs à intégration discontinue (Brillié, Brown et Routin, Siemens, Holden) sont examinés en détail.

Pour terminer sa très instructive conférence, M. Janet décrit différents compteurs adaptés à des conditions spéciales de tarification de l'énergie (compteurs à prépaiement, à double tarif, à tarif variable) et donne un tableau de la consommation à vide des principaux types de compteurs existants.

BAR-LE-DUC. — IMP. COMTE-JACQUET

Le gérant : Alfred MAGNIER.

5e série, tome I, n° 3. Mars 1931

BULLETIN
DE LA
SOCIÉTÉ FRANÇAISE
DES
ÉLECTRICIENS

SOMMAIRE

(1) La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses Membres dans les discussions, ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

COMPTE RENDU DES RÉUNIONS

RÉUNION ORDINAIRE MENSUELLE
du Samedi 7 Février 1931

Présidence de M. Chaumat.

La séance est ouverte à 16 h. 30.

Le procès-verbal de la précédente séance est adopté.

Il est donné connaissance des demandes d'admissions suivantes :

MM.

Allaneau (Robert Auguste), ingénieur à la Société Force et Lumière, 67, rue de Dunkerque (Service installations industrielles). Domicile : 183, avenue du Maine, à Paris (14e). — Présenté par MM. Lafitte et Steff.

Berenstein (Avroum), ingénieur I. E. T. à la Maison Chauvin et Arnoux, 186 à 188, rue Championnet, à Paris (18e). Domicile : 12, rue de la Sorbonne, à Paris (5e). — Présenté par MM. Arnoux et Pillier.

Fage (Victor-Jean), 39, rue Henri-IV, à Bordeaux (Gironde). — Présenté par MM. Jouaust et Courpron.

da Fonseca Telles (Franscisco-Emygdio), professeur à l'Ecole Polytechnique de S. Paulo, 67, rua Alagoas, à S. Paulo (Brésil). — Présenté par MM. Mauduit et Guilbert.

Groc (Pierre Philippe), ingénieur E. S. E., 2, rue Auguste-Thomas, à Asnières (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Helliot (Robert-Louis), chef du service des installations industrielles à la Société Force et Lumière électriques, 102, rue d'Herblay, à Taverny (Seine-et-Oise). — Présenté par MM. Lafitte et Steff.

Koechlin (Jean-Eugène-François), chef des services électriques de la Société Lyonnaise des Eaux et de l'Eclairage, 3, rue de Messine, à Paris (8e). — Présenté par MM. Gasquet et Polack.

Legoueix (Clément), ingénieur à l'Energie Industrielle, 58, rue d'Auteuil, à Paris (16e). — Présenté par MM. Grosselin et G.-E. Petit.

Mowszowicz (Maurice), ingénieur au Bureau d'études de la Cie Electro-mécanique, étudiant à la Sorbonne (Faculté des Sciences), 8, rue de la Victoire, à Paris (9e). — Présenté par MM. Grosselin et Doizan.

Moziman (Gaston), ingénieur à la Société « Le Matériel Electrique S. W. », 32, cours Albert-Ier, à Paris (8e). Domicile : 143, rue Mosland, à Colombes (Seine). — Présenté par MM. Benézech et Saury.

Petit (Henry), ingénieur au Nord-Lumière, 3, rue de Messine, à Paris (8e). Domicile : 30 *bis*, boulevard des Batignolles, à Paris (17e). — Présenté par MM. Thiébert et Brugger.

Ponsard (Léon), directeur général de la Société Hydro-Electrique à Bayonne, allées Marines, à Bayonne (Basses-Pyrénées). — Présenté par MM. Delasalle et L. Rousseau.

Puech (Emile-Louis), ingénieur à la Société des Produits Azotés, à Lannemezan (Hautes-Pyrénées). — Présenté par MM. Rousseau et Delasalle.

Roy-Pochon (Cécile-Marguerite, Mlle), ingénieur à la Société Rhône-Poulenc, 8, Grande-Rue, à Bellevue (Seine-et-Oise). — Présentée par MM. le général Ferrié et Jouaust.

Sans opposition de la part des membres présents, ces candidats sont élus membres titulaires de la Société.

M. le Président fait part du décès de MM. Dubs, Ingénieur-Conseil et Waldvogel, Directeur de la Société générale de force et lumière à Grenoble et adresse à leurs familles l'expression des condoléances de la Société.

M. le Président annonce la nomination au grade de Chevalier de la Légion d'Honneur de M. Locquin, Administrateur-Délégué de la Société « Le Fil Dynamo ».

M. Chaumat, Président entrant, prononce l'allocution suivante :

Messieurs,

En prenant ce soir, possession effective du fauteuil de la Présidence à la Société Française des Electriciens, j'éprouve un vif sentiment de gratitude envers vous et je tiens tout d'abord à vous remercier du fond du cœur du grand honneur que vous m'avez fait.

Je mesure, d'autre part, les responsabilités qui deviennent mon lot et ce qu'il me faudra d'effets pour remplir dignement ma tâche. Vous pouvez compter que je m'y consacrerai avec tout ce que j'ai de forces et de courage et avec un dévouement qui vous est acquis depuis toujours.

Je m'inspirerai des exemples de mes éminents prédécesseurs pour maintenir et développer la prospérité de la Société, pour garder à nos séances techniques, leur très haute tenue en valeur et en courtoisie.

Je sais que les conseils éclairés et l'appui de ceux qui m'ont précédé à ce fauteuil ne me feront pas défaut et que je pourrai avoir recours à leur expérience et à leur sagesse.

La succession que je recueille m'apparaît tout particulièrement lourde quand je songe au rôle si actif joué par mon prédécesseur immédiat, M. Parodi, à ses heureuses initiatives, au souci qu'il a pris de préparer l'avenir de vos fondations, au renouveau d'éclat qu'il a su donner à nos séances en organisant des conférences très documentées et d'un vif intérêt sur l'état actuel de la traction électrique dans les principaux pays du monde.

Je suis sûr d'être aujourd'hui votre interprète en lui offrant nos bien vifs remerciements et l'expression de notre affectueuse reconnaissance.

J'espère fermement qu'il restera présent à mes côtés ou dans la coulisse pendant toute cette année.

C'est, Messieurs, depuis longtemps, dans vos séances de sections, que se préparent les communications de vos réunions mensuelles.

Je suis assuré du brillant concours de tous les Vice-présidents qui m'assistent pour rendre nos séances de plus en plus vivantes et fructueuses.

Je sais aussi, Messieurs, que j'aurai auprès de moi, notre très sympathique et très aimé délégué général, M. Grosselin.

La faible durée, imposée par nos statuts, du mandat présidentiel, à côté d'avantages évidents, n'est pas sans présenter quelques inconvénients pour les œuvres de longue haleine. Mais, si les Présidents passent, notre délégué général reste et c'est lui qui, en assurant la liaison entre les efforts successifs, maintient la pérennité de vos œuvres et se trouve par là notre véritable animateur et notre porte-flambeau.

Je tiens à lui dire ce soir toute notre gratitude dont il voudra bien transmettre une partie à son dévoué collaborateur, M. Gaston Petit.

Je veux aussi rendre hommage à l'intelligente activité déployée par notre bibliothécaire, M. Doizan. Vous avez, cette année, créé un service de documentation dont le succès s'annonce déjà très vif. Nous devrons nous efforcer de le développer pour que notre riche bibliothèque puisse rendre à l'Industrie électrique des services de plus en plus précieux.

J'aurais été heureux, à l'exemple de quelques-uns de vos anciens présidents, de vous présenter une communication technique.

J'ai eu l'honneur, en avril 1929, de soumettre à la Société française des Electriciens quelques idées directrices pour la réalisation des machines électrostatiques et j'aurais vivement souhaité pouvoir faire aujourd'hui le point.

De nombreuses mesures préliminaires n'ont permis un travail actif que depuis huit mois environ avec l'infatigable et précieuse collaboration de M. Edouard Lefrand, chef des travaux d'électricité au Conservatoire National des Arts et Métiers.

Je ne vous étonnerai pas en vous disant que nous nous sommes heurtés à des difficultés considérables et que nous avons dû, pas à pas, étudier et résoudre de nombreux problèmes.

Aujourd'hui, presque chaque jour amène un progrès important et je préfère attendre un peu pour une communication d'ensemble.

Je vous dirai pourtant que nous avons pu, il y a déjà deux semaines produire une étincelle de 43 centimètres de longueur, avec un seul disque tournant de 46 cm de diamètre, entre deux boules conductrices de

5,5 cm de rayon. Cela correspond à plus de 320 000 V (324 000 par extrapolation des travaux classiques de MM. Abraham et Paul Villard.

A cette tension, qui était alors notre plafond, la puissance était nulle, la machine se bornant sensiblement à alimenter ses propres pertes.

Mais sous 200 000 V que nous pouvons obtenir couramment, le débit a pu atteindre 80 microampères.

Cela nous donne 16 W.

Une machine de Whimshurst que nous avons au Conservatoire, d'un diamètre de plateau légèrement plus grand, de 47 cm, n'a jamais dépassé 120 000 V, à puissance nulle. Et nous n'avons pu lui faire donner, à tension réduite, que 7 dixièmes de W.

Le 31 janvier dernier, notre plafond était dépassé. Nous pouvions obtenir 30 fois de suite une étincelle entre boules de 25 cm de diamètre, à 13 cm 6 de distance ce qui correspond à 364 V et, une seule fois, une étincelle de 14 cm 5 avec les mêmes boules ce qui correspond à 385 000 V.

Ce sont là, n'est-il pas vrai, des résultats très encourageants. Et j'espère pouvoir bientôt vous dire, sur les machines électrostatiques, des choses intéressantes et vous faire l'histoire des difficultés rencontrées.

Messieurs, vos réunions mensuelles où sont présentées toutes les questions d'actualité, où ces questions sont offertes à la plus large discussion, offrent, dans leur succession, toute l'histoire de l'Electrotechnique, histoire bien souvent émouvante et grandiose. Je ne connais pas beaucoup de lectures plus attachantes que celle de votre Bulletin, où se trouvent consignées toutes les grandes étapes de nos progrès.

Mais ce n'est pas à vos réunions que s'est bornée votre activité.

La Société française des Electriciens s'est distinguée par deux fondations éclatantes qui se sont développées, avec votre soutien matériel et moral, sous la brillante direction de M. Paul Janet.

Vous savez que je parle du Laboratoire central et de l'Ecole Supérieure d'électricité.

Votre Laboratoire Central, depuis sa fondation, avec l'appui initial de l'Etat, a rendu des services quotidiens à l'Industrie, aux grandes Administrations publiques. Il s'est livré à des recherches originales d'un haut intérêt. Et il a joué, dans le passé, un rôle mémorable par une contribution de tout premier ordre aux mesures absolues des étalons fondamentaux.

Depuis la guerre, les échanges internationaux, dans le domaine de

l'Electricité, se multiplient en fréquence et en valeur : échange d'idées, échange de travaux, études en commun des définitions et de la réglementation de la production.

Et votre pensée comme la mienne, se porte naturellement vers M. Brylinski qui, avec tant d'autorité et de science, préside aux travaux du Comité électrotechnique français.

Ces échanges techniques, dans notre domaine, sont une partie importante de ces grands courants internationaux, courants alternatifs, à flux et reflux, qui adoucissent un peu la sévérité des lignes frontières et où il nous plaît de voir poindre l'aurore d'une ère plus fraternelle et plus paisible.

Si incertaine encore et si fragile que puisse nous apparaître, en ces temps, cette aurore de paix, notre devoir est de travailler à l'affermir.

Il importe que le Laboratoire Central d'Electricité prenne une place de plus en plus marquée dans ces échanges, place digne de son passé et de notre Génie National.

Il importe que son service de recherches se développe et devienne de plus en plus fécond, afin de préparer les voies aux progrès de demain.

Et il est nécessaire qu'il continue à apporter à l'Industrie électrique française un concours très actif et de mieux en mieux adapté, soit sous la forme actuelle, soit sous des formes neuves qui peuvent surgir.

Et pour tout cela, Messieurs, il faut des moyens matériels dont la précarité est aujourd'hui saisissante.

Quand on met en balance cette précarité de moyens et l'œuvre déjà accomplie, on est frappé de leur disproportion et il apparaît que c'est grâce à la science et au dévouement du personnel, qu'une telle œuvre ait pu être faite avec de tels moyens.

Il faudrait citer ici tous les noms des collaborateurs de M. Paul Janet. Je ne nommerai que le principal, M. Raymond Jouaust, sous-directeur du Laboratoire central.

Mais la science et le dévouement incomparables de M. Raymond Jouaust ne sauraient suppléer, dans tous les cas, au manque d'appareils ou de machines. Et, si les travaux se multiplient, il ne peut pas non plus parer au manque de collaborateurs, ni faire durer les jours plus de 24 heures.

Il nous faut, Messieurs, songer à armer notre Laboratoire Central de moyens plus puissants, en rapport avec les nécessités du jour.

Là encore, votre Président de l'exercice 1930, M. Parodi, a pris une

initiative, et, en ce moment même, une Commission spéciale et votre Bureau étudient, avec prudence, les méthodes propres à développer les moyens d'action du Laboratoire Central.

Vous serez, Messieurs, appelés à délibérer sur les solutions qui vous seront présentées par votre Comité et qui demandent à être très mûrement et très patiemment étudiées.

Il me faut bien aussi vous parler de l'Ecole.

N'est-ce pas à l'Ecole supérieure d'Electricité que vous pensiez quand votre vote m'appelait à la présidence de la Société pour l'exercice 1931 ?

Et ce vote n'avait-il pas été précédé d'un autre vote, beaucoup plus significatif encore, lorsque, à l'unanimité, vous portiez à la présidence d'honneur M. Paul Janet, directeur du Laboratoire Central et de l'Ecole.

Vous reconnaissiez ainsi, d'une manière exceptionnelle, son œuvre éminente, poursuivie pendant plus de 35 années.

M. Paul Janet vous fait, chaque année, un compte rendu de l'activité de l'Ecole.

Et, en novembre 1925, au cours de la cérémonie de Malakoff, alors qu'on posait la première pierre des nouveaux bâtiments qui l'abritent et que l'Ecole se préparait à prendre enfin la face de son esprit et de son cœur, tout a été dit de son histoire.

Quel bel exemple elle offre dans sa fondation, uniquement due à l'initiative privée, et dans sa lente évolution sous l'impulsion donnée initialement par des hommes aux vues larges et au cœur généreux.

Notre chère Ecole a traversé des moments bien pénibles et vécu des heures parfois bien douloureuses.

Je ne puis me rappeler sans une grande et poignante émotion la réunion finale du Jury du jeudi 30 juillet 1914.

Il y avait là le regretté M. Noel qui devait se montrer si ferme et si grand à Noyon. Il y avait là M. Géry, alors président de la Société Amicale de nos anciens élèves, qui venait, selon la coutume, apporter aux élèves sortants les encouragements et les vœux de leurs aînés.

Nous étions sous la menace de la guerre et, dans l'extrême tension ambiante, une angoisse nous étreignait tous. L'heure était proche des grands devoirs. Nous sentions notre jeunesse frémissante et, dans les paroles échangées, on sentait palpiter l'âme même de la Patrie.

Quelques jours après, la grande tragédie se déclanchait.

C'est aussi l'âme de la Patrie qui allait s'exhaler, si pure, des lèvres de tant de nos jeunes héros, tombés aux champs d'honneur pour la défense de notre liberté et de notre vie nationale.

Mais il convient, n'est-ce pas, Messieurs, de ne regarder en arrière

que pour y puiser des enseignements et y raffermir son courage pour les tâches quotidiennes et les tâches de l'Avenir.

L'Ecole a connu des heures brillantes.

Presque aussitôt après sa fondation, les Ministères de la Guerre et de la Marine lui envoyaient des officiers et des ingénieurs spécialistes pour y parfaire leur éducation technique. Cette fréquentation n'a jamais cessé.

En 1902, il a été décidé que les élèves ingénieurs de l'Ecole supérieure des Postes et des Télégraphes feraient, à l'Ecole supérieure d'Electricité, leur première année d'études (décision ministérielle du 5 mai 1902).

Dès la création de l'Ecole du Génie Rural, en 1919, les élèves de cette Ecole étaient envoyés à l'Ecole Supérieure d'électricité pour y faire également leur deuxième année d'études.

Enfin, en 1919, on créait à la Faculté des Sciences de Paris, une chaire d'électrotechnique générale et un certificat du même nom. Le cours de M. Paul Janet, professé à l'Ecole supérieure d'Electricité depuis plus de 20 ans, devenait ainsi un cours de la Sorbonne. Pour le certificat d'électrotechnique générale, on a joint, aux 60 leçons de M. Paul Janet, 25 conférences préparatoires aux travaux pratiques, essais et mesures, données par M. C. Guilbert et 25 séances de travaux pratiques, dirigés par les chefs de travaux de l'Ecole.

N'y a-t-il pas, Messieurs, dans tout cet ensemble, une consécration de la valeur de l'enseignement de l'Ecole?

Il nous faut conserver cette belle couronne.

Nous devrons, pour l'Ecole, faire aussi de gros efforts, assurer son développement harmonieux dans la voie des hautes spécialisations ouverte en 1912, étudier les moyens d'assurer, d'une manière plus ferme, l'équilibre de son budget.

Quels que soient ces moyens, nous devrons veiller avant tout à ce que l'Ecole garde son rayonnement, conserve sa souplesse évolutive et à ce qu'elle reste, et de plus en plus, en liaison étroite avec une industrie qu'elle doit servir.

C'est en 1896 que M. Paul Janet m'appela à ses côtés comme chef de travaux, chargé du cours de mesures, à l'Ecole Supérieure d'électricité qui s'appelait alors Ecole d'application du Laboratoire Central. J'en devins le sous-directeur par la suite et cette collaboration n'a jamais cessé depuis.

Elle a changé de caractère en 1919 et si j'ai gardé mon enseignement à l'Ecole, j'ai dû abandonner mes fonctions administratives pour

occuper la chaire d'Electricité industrielle du Conservatoire National des Arts et Métiers, où l'on venait de m'appeler à la succession de Marcel Deprez.

M. Paul Janet me connaissait, car j'avais été son élève à la Faculté des Sciences de Grenoble, et, alors préparateur à cette Faculté, je rédigeai, en 1893, la seconde année des cours du soir d'Electricité industrielle qu'il avait inaugurés une année auparavant.

Mais mon esprit avait été déjà orienté vers l'Electricité, depuis environ 10 années, car j'étais jeune préparateur de physique et de chimie à l'Ecole professionnelle Vaucanson de Grenoble, au moment où Marcel Deprez, sur l'invitation de la Municipalité, y vint faire, en août 1883, sa célèbre expérience de transport de la Force motrice entre Vizille et Grenoble à 14 km de distance.

Je vous rappelle que l'on réussit à transmettre une puissance de 8 chevaux à l'aide d'une ligne double d'un fil de bronze siliceux de 2 millimètres de diamètre avec un rendement de près de 65 pour cent.

J'ai eu la bonne fortune d'approcher Marcel Deprez à ce moment et je vous demande de me permettre de faire revivre un peu ce soir ce glorieux passé.

Mon illustre prédécesseur au Conservatoire a attaché son nom d'une manière impérissable à la conquête des énergies naturelles par l'électricité.

Le principe de la réversibilité des machines dynamo-électriques qui nous apparaît comme si nécessaire, était déjà connu, mais assez mal, au moment où Marcel Deprez commençait ses travaux. Il a eu tout d'abord le mérite de l'énoncer sous une forme très nette et quantitative.

Dans une note célèbre, présentée à l'Académie des Sciences, le 15 mars 1880, il osa affirmer que le *rendement d'un transport d'énergie pouvait être rendu indépendant de la distance*. Et, dans cette note, il posa le principe de l'emploi des hautes tensions qui rend la solution du problème économiquement acceptable.

Cette affirmation d'un haut rendement possible, audacieux pour l'époque, suscita des controverses dont le caractère passionné nous étonne aujourd'hui.

Mais Marcel Deprez avait montré la voie à suivre et il s'y engagea aussitôt.

Il publia un long travail dans la « Lumière électrique » au cours duquel il étudia les modifications à faire subir aux machines industrielles alors connues.

Ce travail se termine, le 10 août 1881, par cette conclusion :

Il est possible de transmettre une puissance utile de 10 chevaux à 50 km de distance, au moyen d'un fil télégraphique ordinaire, avec un rendement d'environ 60 0/0, la puissance mécanique au départ étant voisine de 16 chevaux.

Mais il fallait une génératrice donnant 7000 V, soit 100 fois la force électromotrice des machines courantes d'alors.

Moins de quatre années après le commencement de ses études, il réalisait des génératrices de 6000 V.

C'est le Conservatoire National des Arts et Métiers, où la chaire d'électricité industrielle ne devait être créée, pour lui, que 8 ans plus tard, qui vit sa première expérience publique.

Marcel Deprez avait modifié deux machines de Gramme, établi une ligne artificielle d'une résistance de 800 ohms, équivalente à une ligne télégraphique ordinaire de 80 km de longueur, et il put, *le 15 juin 1882*, dans ce même amphithéâtre C où je donne aujourd'hui mon enseignement, transmettre une puissance de 1/2 cheval devant ce public parisien si épris des nouveautés, si vibrant, si enthousiaste, si compréhensif et qui sait donner aux inventeurs un soutien moral si précieux.

Les expériences publiques se succédèrent ensuite rapidement. C'est, trois mois plus tard, encore en 1882, celle de l'exposition de Munich : 47 km, puissance transmise 1/4 de cheval, rendement de 30 pour cent.

En mars 1883, ce fut l'expérience du Chemin de fer du Nord, expérience dite en boucle, où l'on obtint 4,5 chevaux avec un rendement de 46 pour cent. Marcel Deprez avait déjà une génératrice de 3000 V.

La génératrice et la réceptrice étaient côte à côte pour la facilité des mesures. Elles étaient réunies d'une part, à l'aide d'un conducteur court de forte section, et, par les autres bornes, à l'aide d'un fil télégraphique qui allait passer par le Bourget.

Les conclusions de la Commission de contrôle désignée par l'Académie des Sciences et dont le rapporteur était Cornu furent formelles. *Les vues théoriques de* Marcel Deprez, déclara-t-elle, *devenaient des principes scientifiques des mieux établis.*

Cette expérience fut cependant très vivement critiquée. Ces deux machines à côté l'une de l'autre, disaient les contradicteurs, ne réalisaient pas les conditions de la pratique.

Aussi Marcel Deprez, en août 1883, accepta l'invitation que lui fit alors la municipalité de Grenoble qui avait à sa tête M. Edouard Rey, de venir faire une expérience dans des conditions industrielles en trans-

mettant une puissance capable d'animer un atelier de quelque importance.

J'ai fouillé les archives municipales de Grenoble et j'y ai trouvé deux délibérations, la première accordant, pour ces expériences, une subvention de 3 000 francs qui fut portée à 5 000 dans une seconde délibération.

On fait toujours en France de grandes choses avec de petits moyens et c'est avec émotion que l'on peut comparer cette subvention initiale et le grand bouleversement économique qui devait sortir de cette expérience de Grenoble.

C'était, en effet, la première expérience décisive, par la puissance à la réception, la longueur de la ligne, par le rendement et par la durée, car les machines fonctionnèrent régulièrement pendant plus d'un mois, plusieurs heures chaque jour.

Il faut bien dire que Marcel Deprez n'avait employé que des machines à courant continu. Et c'est grâce à la découverte et à la mise au point de ce merveilleux outil qu'est le transformateur, que la transmission électrique de l'énergie allait prendre si rapidement la forme d'essor qu'elle a prise.

Mais les principes généraux posés par Marcel Deprez sont valables en courant alternatif comme en courant continu et l'on ne peut lui dénier le rôle et le titre d'initiateur génial.

L'enthousiasme à Grenoble était indicible. La presse avait apporté un concours sans réserve et précieux. Tout le monde avait compris. Marcel Deprez avait amené avec lui deux principaux collaborateurs, Frank Géraldy et Jules Sarcia qui répondaient avec bonne humeur et précision à toutes les questions qu'on leur posait dans ce vieux bâtiment des Halles de Grenoble où était installée la réceptrice et où l'on faisait une modeste distribution locale à des lampes et à quelques moteurs. J'ai reçu là de Frank Géraldy une bien intéressante leçon de mécanique.

J'étais alors un bien mince personnage : 16 ans 1/2, préparateur à l'Ecole Vaucanson ; mais j'étais pris moi aussi de l'ardeur du prosélyte et pendant que Frank Géraldy faisait, au théâtre de Grenoble, une brillante conférence publique, j'en faisais une autre, bien plus modeste, aux quatre cents élèves de l'Ecole Vaucanson, rassemblés pour la circonstance.

Une commission avait été nommée pour suivre les expériences. Elle fut présidée par le capitaine du génie Boulanger, un remarquable

et modeste savant qui devait collaborer plus tard avec le général FERRIÉ.

Son rapport, clair et précis, a été publié *in extenso* dans la *Lumière électrique*. Il a, encore aujourd'hui, plus qu'un intérêt historique.

Il faut se reporter par la pensée à cette époque où les mesures électriques industrielles étaient à peine nées et où l'on comptait les rares exemplaires du galvanomètre à arête de poisson, créé par Marcel DEPREZ trois ans auparavant et qui est l'ancêtre des ampèremètres et voltmètres modernes.

Sait-on bien que la mesure du courant, dans les expériences de contrôle, fut faite, à VIZILLE et à GRENOBLE, en utilisant des phénomènes d'électrolyse. On put ainsi se rendre compte de la déperdition de la ligne par défaut d'isolement.

La Commission comprenait quelques membres qui lui furent adjoints pour faire des mesures et parmi lesquels le Directeur de l'École Vaucanson. Il fut un jour empêché et me fit agréer pour le remplacer.

Et c'est ainsi que je passai toute une matinée à faire des mesures avec l'ampèremètre à arête de poisson de Marcel DEPREZ.

Le Maître était venu assister aux expériences et se prodiguait avec ses collaborateurs même les plus modestes. Je n'étais pas le dernier à le questionner, si loin de me douter que j'aurais un jour l'honneur de lui succéder dans la chaire fondée pour lui, en 1890.

Il me voyait sans doute très éveillé, car il me demanda si je voulais venir à Vizille l'aider à mesurer la puissance développée par la turbine hydraulique qui, dans l'usine DAMAYE et Cie, conduisait la génératrice. Il avait besoin de cette mesure directe pour répondre à quelques critiques.

Vous devinez avec quel élan j'acceptai cette proposition. Je fis la route à pied, et, en bon montagnard, j'abattis en deux heures les 14 kilomètres du parcours.

On a parfois, surtout dans sa jeunesse, des heures exceptionnelles, où l'on se sent dispos, joyeux, alerte et lucide, où tout paraît simple et facile. On les marque dans ses souvenirs d'un caillou blanc.

Je ne puis songer au transport électrique de l'énergie, sans revoir cette lumineuse journée de septembre 1883 que je passai presque toute entière avec Marcel DEPREZ.

La vitesse de la turbine était faible et sur sa poulie avait été installé

un frein de Prony dont le bras de levier était un sapin tout entier tiré de la montagne voisine.

Tous ceux qui ont utilisé les freins de Prony sous leur forme primitive savent que la manœuvre est assez délicate. Il faut amener la vitesse à la valeur antérieure et maintenir l'horizontalité du bras de levier en modifiant à la fois le serrage des sabots du frein et la valeur de la masse placée à l'extrémité du levier. Il faut procéder avec méthode,

Marcel Deprez me montra qu'il était inutile d'amener la vitesse à sa valeur exacte. En bon mécanicien qu'il était, il avait, dans ce domaine, formulé une loi : *les augmentations de poids sont proportionnelles aux diminutions de vitesse.* Et dès lors, on pouvait interpoler.

Avec sa flamme de prosélytisme, il me démontra cette loi par deux expériences décisives. Elle se trouvait vérifiée à $\frac{1}{200}$ près environ.

J'entends encore Marcel Deprez me dire : « *Voyez, cette loi est presque aussi exacte que la loi de Mariotte !* »

Que voilà bien la marque du génie ! Des paroles à l'emporte-pièce sont jetées et sèment, dans les cerveaux, des germes de réflexions !

L'enseignement élémentaire était loin d'être alors ce qu'il est devenu et l'on énonçait les lois physiques sous une forme dogmatique. Je devais apprendre bientôt que les lois ne sont jamais exactes, qu'elles ne sont que des étapes et que, dans ce *presque* de Marcel Deprez, était toute la vérité.

Messieurs, j'ai terminé.

Je m'excuse d'avoir parlé un peu trop de moi-même. Mais, aux heures des grandes émotions, le passé remonte naturellement du cœur aux lèvres. Et j'ai voulu évoquer ce soir la mémoire d'un grand précurseur que j'eus l'heureuse fortune de rencontrer dans ma prime jeunesse et qui eut sur ma tournure d'esprit, à une heure de grande réceptivité, une influence décisive.

Marcel Deprez a été, par ses idées géniales, par ses écrits, par ses réalisations, par toute son œuvre, le grand animateur de cette glorieuse phalange d'électriciens qui ont véritablement fondé l'Electricité industrielle. Ce sont les hommes de 1881.

Nous en sommes les héritiers. Nous avons à continuer leur œuvre dans un monde nouveau, traversé de grands remous, tellement tendu, tellement haletant que nous n'avons pas un instant à perdre.

Messieurs, je vous invite au travail pour le rayonnement de la Société française des Electriciens et pour la grandeur de notre Patrie.

M. HOLWECK, présente une communication sur « *l'interprétation énergétique de l'action biologique des radiations* ».

M. le Président remercie vivement M. HOLWECK qui vient de nous exposer des considérations du plus vif intérêt sur un sujet qui ne nous était pas encore familier.

La séance est levée à 18 h. 30.

SEMAINE DE DISCUSSIONS DE NOVEMBRE 1930

COMPTE RENDU STÉNOGRAPHIQUE DES DISCUSSIONS

Séance d'ouverture du Lundi 24 Novembre 1930

M. PARODI, Président de la Société française des Electriciens, ouvre en ces termes la VII^e^ Semaine de Discussions :

Messieurs et chers Collègues,

En ouvrant aujourd'hui notre semaine de discussions de 1930, je suis heureux de constater que votre affluence nous donne une preuve nouvelle de l'activité avec laquelle les Ingénieurs Français poursuivent l'étude des innombrables problèmes qui s'imposent à leur attention.

Le développement rapide des industries électriques exige l'application de procédés de calcul de plus en plus précis, et l'utilisation de méthodes d'organisation étudiées chaque jour plus profondément, aussi bien pour l'établissement des machines, des usines, des réseaux, que pour leur exploitation même.

Ce n'est que par des recherches systématiques effectuées en commun, analogues à celles que nous poursuivons ici, que nous pouvons renouveler et augmenter « l'outillage intellectuel », dont nous avons tous besoin.

Mon éminent prédécesseur et ami M. BUNET a vu juste et loin quand il a provoqué en 1924 la création de ces discussions annuelles dans lesquelles nous pouvons en toute simplicité échanger des idées, préciser des méthodes, comparer des résultats, sans autre préoccupation que celle de nous instruire mutuellement ; certains de suivre la voie tracée par M. BUNET, nous avons convié cette année de nombreux ingénieurs étrangers à prendre part à nos travaux et la bonne grâce qu'ils ont mise à répondre à notre appel et dont je les remercie, nous est une preuve évidente des progrès qu'ont fait dans ces dernières années, même au delà des frontières, les idées de collaboration et d'union entre ingénieurs ayant les mêmes préoccupations professionnelles.

Le profit que nous pouvons tirer de l'étude des solutions mises au

point dans différents pays dans des conditions extrêmement variées, peut être très grand et en échangeant des idées avec nos collègues étrangers, nous avons pu faire un tour d'Europe, sans interrompre nos occupations quotidiennes.

Cette collaboration intellectuelle internationale, qui a été pendant longtemps limitée aux recherches scientifiques, s'étend de plus en plus dans le domaine professionnel et on peut dire que le développement de l'immense effort d'organisation qui s'affirme actuellement est intimement lié à une conception scientifique de la conduite des affaires industrielles.

Ici nous essayons de préciser l'état de nos connaissances sur un certain nombre de questions et nos discussions mêmes, font pour ainsi dire le « point technique » en définissant la situation instantanée d'un certain domaine de recherches : nos réunions de cette semaine, comme les réunions analogues tenues ailleurs en France et à l'Etranger, jouent dans l'organisation économique de l'Industrie électrique, le rôle d'un « Dispatching technique » d'idées, de recherches et de connaissances acquises.

Les pouvoirs publics et les grands groupements industriels utilisent les indications de ce « Dispatching technique » en les confrontant avec celles fournies par des « Dispatching commerciaux » d'organisation différente, mais de but identique, pour préparer et diriger l'évolution industrielle de demain.

Qu'il y ait encore beaucoup de confusion et même d'incohérence dans cette multitude de conférences, de congrès, de commissions, nul n'en doute, mais c'est par une vision nette du but à atteindre, et la comparaison que je viens de faire l'a peut être rendu plus apparent, que pourront s'ordonner, se simplifier, se clarifier les organismes disparates qui tendent tous vers un but commun : le développement de l'Industrie Electrique.

Les rapports qui vont être discutés ici, ont une importance particulière, tant par le sujet même qu'ils traitent que par la manière dont ils sont présentés ; je ne doute pas, étant donnée la qualité de nos auditeurs et de nos conférenciers, que la discussion ne soit féconde et instructive.

A côté des séances de travail ont été organisées des visites d'usines et d'installations de toutes sortes ; le nombre des membres inscrits pour prendre part à ces visites dépasse toutes les prévisions, et nous avons dû prendre des dispositions spéciales pour donner satisfaction aux demandes.

Je remercie les personnalités qui ont bien voulu nous faciliter ces visites, et particulièrement MM. PLATET et SCHUHLER de la Banque de France, les Administrateurs et Directeurs de la Société du Nord Lumière, de l'Union de l'Electricité, de la Compagnie Parisienne de Distribution d'Energie, ainsi que la Compagnie « Aéolian ».

Je remercie également les Présidents de sections, qui ont, par leur activité inlassable, préparé nos discussions, et notre Délégué général qui a su attirer et organiser tous les concours.

Le moment est venu maintenant, de commencer le travail pour lequel nous sommes rassemblés, et je ne doute pas que grâce à vous, les résultats de cette semaine de discussion ne soient aussi profitables à l'avancement de la technique et de la science électrique, que les discussions de nos années précédentes.

TRAVAUX DU CONGRÈS INTERNATIONAL DE SCANDINAVIE EN JUIN 1930

par M. DUVAL

Secrétaire du Comité Electrotechnique Français.

M. DUVAL. — Le Comité Electrotechnique Français est le groupement constitué pour présenter et défendre les propositions françaises auprès de la Commission Electrotechnique Internationale, commission à laquelle sont à ce jour adhérents les Comités Electrotechniques de 26 nations.

Dix neuf sociétés ou groupements sont adhérents au Comité Electrotechnique Français, notamment l'Union des Syndicats de l'Electricité et ses principaux Syndicats, la Chambre Syndicale des Forces Hydrauliques, la Société Française des Electriciens, la Société Française de Physique, la Société des Ingénieurs Civils, l'Union des Voies Ferrées, la Société Hydrotechnique de France, les Associations Gazières et les Associations de Propriétaires d'Appareils à Vapeur, diverses Associations d'Ingénieurs ; enfin les représentants des Ministères des travaux Publics, de la Guerre, de la Marine et des Postes et Télégraphes assistent à ses séances.

Le Comité Electrotechnique représente donc la totalité des groupes intéressés à l'industrie électrique ; ses commissions d'études travaillent d'ailleurs en complète collaboration avec les Commissions de l'Union des Syndicats de l'Electricité.

Les spécifications et réglementations techniques établies par l'Union des Syndicats, sont transmises au Comité Electrotechnique pour examen,

approbation et présentation à la Commission Electrotechnique Internationale.

Cette dernière Commission, dont les travaux ont commencé en 1906, a tenu depuis cette date 30 réunions dont 7 assemblées plénières qui ont permis de faire progresser de façon satisfaisante les travaux de réglementation technique internationale.

La dernière Assemblée plénière s'est tenue du 27 juin au 9 juillet à Stockholm et Oslo, 17 Comités d'études ont à cette date poursuivi leurs travaux, 300 délégués représentant 22 nations ont pris part aux réunions, la France était représentée par dix neuf délégués.

Nous vous présentons un court résumé des travaux effectués, une rédaction plus détaillée des décisions prises, devant paraître prochainement dans la *Revue Générale de l'Electricité*.

COMITÉ D'ÉTUDES N° 1 DE LA NOMENCLATURE

Le Comité a décidé que la question des noms à attribuer aux unités magnétiques ne sera abordée que lorsqu'on aura d'abord précisé les définitions.

Le flux magnétique dans le vide est défini par $B = \mu_0 H$, en appelant μ la perméabilité du vide. Dans une substance magnétique on aura $B = \mu H$.

Les facteurs μ et μ_0 ont des dimensions physiques, le rapport $\mu : \mu_0$ définit la perméabilité relative.

La proposition de donner le nom de Hertz à l'unité de fréquence n'ayant pas réuni l'unanimité n'a pu être adoptée, bien qu'elle eut recueilli une majorité de « oui. »

Le nom de Maxwell a été adopté pour désigner l'unité CGS de flux d'induction magnétique.

Le nom de Gauss proposé par M. Brylinski pour l'unité d'induction magnétique a été adopté, de même que le nom d'Oersted pour désigner l'unité d'intensité de champ magnétique.

Le terme de Pramaxwell pour désigner l'unité pratique de flux magnétique soit 10^8 Maxwell a été adopté, de même que plus généralement, l'emploi du préfixe *pra* pour désigner une unité magnétique pratique dérivée d'une unité CGS.

Le nom de Gilbert présenté pour désigner l'unité CGS de force magnétomotrice déjà très usité aux États-Unis a été également adopté.

Le mot var est adopté pour désigner l'unité de puissance réactive, avec les symboles kvar pour kilovar et kvarh pour kilovarheure.

Le nom de Hormanance proposé par M. Brylinski pour désigner la puissance réactive est ajourné pour étude complémentaire.

La proposition présentée par M. Budeanu de représenter le facteur de puissance en régime sinusoïdal par l'expression

$$K = \frac{Pa}{\sqrt{Pa^2 + P^2r}}$$

où Pa est la puissance active et Pr la puissance réactive est adoptée.

On convient d'étudier pour la prochaine réunion internationale les questions ci-après :

Dénomination de la puissance réactive, ainsi que de la notion $\int Prdt$.

Définitions des grandeurs non actives et unités en régime non sinusoïdal.

Définition du facteur de puissance en régime non sinusoïdal.

On adopte dès à présent en régime monophasé non sinusoïdal les définitions de :

puissance apparente UI

facteur de puissance $K = \frac{P}{UI}$.

On convient de demander à l'Union Internationale de chimie de renoncer au nom de Faraday pour désigner une quantité d'électricité et de recommander l'adoption d'un nom dérivé du Coulomb. En règle générale il est convenu qu'on se rapprochera des associations intéressées pour l'étude des dénominations concernant les termes connexes à l'électricité, à la mécanique, à la physique ou à l'électrochimie.

Les délégués de la France étaient MM Brylinski, Blondin, Jouaust.

COMITE N° 2 DES SPÉCIFICATIONS DES MACHINES ÉLECTRIQUES

Les travaux des précédentes réunions tenues à Londres et à Bellagio ont été approuvés, notamment deux tableaux spécifiant les échauffements des machines rotatives et des transformateurs, ont été approuvés pour envoi définitif aux Comités Nationaux.

Les valeurs des tolérances à admettre pour les essais de rendement, pour la mesure des pertes individuelles, pour les variations de vitesse, pour le couple au démarrage, pour le couple maximum des moteurs

d'induction, pour le courant à vide des transformateurs, pour la tension d'impédance des réactances, ont été arrêtées pour être proposées à l'approbation des Comités Nationaux.

Les échauffements des collecteurs et des bagues collectrices, les échauffements à admettre pour les machines fonctionnant en pays tropicaux, ont été également définis.

L'excès de couple momentané des moteurs d'induction polyphasés a été défini. Les conditions d'échauffement des paliers et les essais diélectriques des excitatrices ont été réservés pour nouvelle étude.

Les délégués de la France étaient MM. Boucherot, Roth, Cassegrain, Demany, Girault.

COMITÉ D'ÉTUDES N° 3 DES SYMBOLES GRAPHIQUES

Le fascicule n° 35 de la C.E.I. qui définit les symboles internationaux adoptés pour les installations à courant fort a été reproduit en France et publié par l'*Union des Syndicats de l'Electricité* et par la *Revue Générale de l'Electricité*. On a adopté à Stockholm les symboles pour la téléphonie et la télégraphie qui ont été préparés en accord avec le Comité Consultatif International pour la télégraphie, on a adopté également, avec légères modifications, les symboles pour radio communication.

Un Sous-Comité a été constitué en vue de réviser et de compléter la liste de symboles de traction ; il est demandé aux Comités nationaux de mettre à l'étude la question des symboles pour relais et dispositifs automatiques.

Les délégués de la France étaient MM. Blondin, Jouaust et Bayard.

COMITÉ D'ÉTUDES N° 5 DES TURBINES A VAPEUR

Le document en préparation relatif aux turbines à vapeur résumant les travaux du Comité n° 5 comprend deux parties, l'une qui a trait aux spécifications et l'autre aux règles d'essai.

L'étude qui en avait été commencée à la réunion plénière de Bellagio en a été poursuivie activement au cours des réunions particulières du Comité à La Haye en 1928 et à Londres en 1929.

Les points les plus importants à signaler sont les suivants :

1re partie. — Spécifications. — 5 (Secrétariat) 18.

Un article qui prévoyait l'interdiction de la fonte dans la construction des turbines pour les parties soumises aux hautes températures avait fait l'objet de discussions très vives à la réunion de Londres, puis d'une enquête auprès des Comités Nationaux au cours de l'année passée. Il a été décidé finalement de supprimer cet article, ce qui est conforme à l'opinion qui avait été émise par les Délégués Français.

La section 2, qui a trait aux renseignements à fournir en vue d'une demande de prix ou d'une commande de turbine, figurera sous forme d'annexe.

Deux des annexes qui existaient déjà, ont trait aux pressions de vapeur et aux puissances normales recommandées. Elles ont été modifiées comme suit, conformément aux suggestions présentées par le Comité Français.

Les pressions dont l'emploi est recommandé en vue d'une unification, seront mesurées, non pas à la valve d'arrêt de la turbine comme dans le projet primitif, mais aux chaudières. Elles ont pour valeurs :

16, 25, 40, 64, 100 et 160 kg/cm².

Il est à noter que ces valeurs sont celles qui ont déjà été adoptées par l'Association Internationale de Normalisation pour les normes des tuyauteries.

Les puissances normales recommandées exprimées en kW et définies par les puissances maxima continues, que peuvent développer les turbines sont :

500	5000	50 000
800	8000	80 000
1250	12 500	125 000
2000	20 000	
3200	32 000	

Les types des turbines que comporte ce tableau, ont paru mieux tenir compte des types des turbines déjà en usage, que le tableau proposé précédemment à Londres.

Une autre annexe qui avait trait aux symboles sera renvoyée à la deuxième partie pour y être fusionnée avec un chapitre analogue ayant trait à la Terminologie.

Par contre, une nouvelle annexe sera jointe à la première partie qui aura trait aux symboles graphiques. Il a paru utile, en effet, de fixer un certain nombre de symboles dont l'unification rendra plus

facile la lecture des plans. Les symboles proposés sont au nombre de 21; ils ont trait aux éléments suivants : tuyaux de vapeur, d'eau d'air, branchement de conduites, générateurs de vapeur, échangeurs de température, condenseurs, turbines, générateurs électriques, valves automatiques, réservoirs, pompes et éjecteurs.

2e partie. — Règles pour les essais de réception.

Cette seconde partie expose l'énumération et la description des termes, les directives, le calcul des résultats et la forme des rapports d'essais. En ce qui concerne les instructions et méthodes de mesures, on a déterminé les règles obligatoires qui seront définitivement admises et les renseignements supplémentaires qui seront soumis à une nouvelle étude. Les mesures des débits de vapeur et d'eau au moyen des tubes de Venturi, ajutages ou diaphragmes n'ont pas été spécifiées, car elles sont mises à l'étude par l'Association Internationale de Normalisation (I.S.A.) dont on attendra les conclusions.

Un rapport présenté par M. Darrieus sur la définition du rendement thermo-dynamique des turbines à vapeur a été pris en considération et renvoyé aux Comités Nationaux.

Les délégués de la France étaient MM. Cauchois, Risler et Stiffel.

COMITÉ D'ÉTUDES N° 6, CULOTS ET SUPPORTS DE LAMPES

Les recommandations préparées par le Comité de Normalisation des Lampes (6 Indeco 101) furent examinées et approuvées avec de très légères modifications. Le vœu fut émis que le Comité de Normalisation des Fabricants continuât ses études en vue d'obtenir une interchangeabilité aussi complète que possible en tous pays pour les lampes et leurs accessoires.

Les propositions allemandes relatives à la protection des supports de lampes furent transmises au Comité de Normalisation comme base d'études.

Constatant l'état d'avancement satisfaisant de la normalisation des culots à baïonnette et à vis, le Comité émit le vœu que la Commission Internationale de l'Eclairage puisse convoquer une réunion, au cours de sa session de septembre 1931, dans laquelle on essaiera d'établir un accord définitif.

Si cet accord est réalisé, les conclusions seront immédiatement approuvées et publiées par le C. E. I.

Le délégué de la France était M. Cerceau.

COMITÉ D'ÉTUDE N° 7, ALUMINIUM

Un accord n'ayant pu s'établir avec les délégués des Etats-Unis, les décisions ci-après ont été déclarées valables pour les nations européennes.

Aluminium écroui étalon :

1° A une température de 20° C la résistivité de l'aluminium écroui sera de 0,02845 ohm mm²/m, ce qui équivaut à 60,6 pour cent de la conductibilité du cuivre étalon ;

2° Pour des échantillons individuels, on admet une tolérance de + 1 pour cent sur la résistivité. Dans ces conditions, aucun fil ne sera considéré comme dépassant la valeur normale, lorsque sa résistivité ne sera pas supérieure à 0,02873 ohm mm²/m ce qui équivaut à 60 pour cent de la conductibilité du cuivre étalon.

3° Les valeurs indiquées aux §§ 1 et 2 s'appliquent seulement aux fils qui n'ont pas été torsadés. En ce qui concerne les échantillons prélevés sur câbles, on admettra une augmentation de résistivité de 1 pour cent.

4° A la température de 20° C on admettra pour la densité de l'aluminium écroui la valeur de 2,703.

5° A la température de 20° C on admettra pour le coefficient de variation de résistance mesurée à masse constante la valeur 0,00407. Les mesures devront être faites à une température qui ne sera pas inférieure à 10° C ou supérieure à 30° C. Les valeurs ainsi obtenues seront ramenées à une température de 20° C.

L'aluminium écroui est un métal dont la résistance à la traction est supérieure ou égale à 15 kg/mm² sous forme de fils.

Il a été convenu que la spécification de l'aluminium type recuit, serait renvoyée à une session ultérieure.

Le délégué de la France était M. Jouaust.

COMITÉ D'ÉTUDES N° 8, TENSIONS ET ISOLATEURS

Après avoir approuvé les décisions prises à Bellagio et contenues dans le procès-verbal R.M.58 la commission a examiné une proposition tendant à compléter les tableaux des tensions normales déjà admises en précisant des tensions au-dessus de 220 V en courant triphasé et des tensions entre 500 et 600 V en courant continu. Après discussion, il est admis que des propositions seront présentées lors d'une prochaine réunion pour la normalisation des tensions au-dessous

de 100 V. mais qu'aucune tension triphasée ne sera précisée entre 220 et 1000 V. En courant continu les tensions de 500 et 750 V sont considérées comme normales, mais on devra se mettre d'accord avec la commission de traction.

La tension de 132 kV après avoir été proposée est rejetée, mais la tension de 400 kV est recommandée à titre provisoire pour les grandes interconnexions.

Il est admis que les prises de réglage sur les transformateurs seront normalement établies à ± 4 o/o pour transformateurs d'une distribution primaire inférieure à 60 kV et marchant sans régulation journalière de tension : cette proposition est soumise à la règle des six mois.

En ce qui concerne les isolateurs, un accord général a pu s'établir sur presque toutes les propositions présentées après la réunion de Bellagio, savoir :

Accord sur la tension d'essai 2U + 10000 V.

Accord sur la tension de contournement à 5 pour cent au-dessus de 2U + 10000 V.

Accord sur la durée d'essai de 1 mn à sec.

Accord sur la durée d'essai de 1 mn sous pluie après arrosage de 5 mn.

Accord sur la quantité de pluie fixée à 3 mm par minute.

Résistivité de l'eau fixée entre 9 et 11 000 Ω — cm.

Le nombre d'isolateurs prélevés pour les essais sera de 4 pour mille.

Un Comité de rédaction comprenant un délégué de chacun des pays suivants :

Allemagne, France, Grande-Bretagne, Italie, Suisse, Etats-Unis, rédigera le texte définitif des spécifications adoptées, notamment en ce qui concerne les modalités des essais, l'essai de perforation, les essais mécano-électriques.

Les propositions relatives aux essais à haute fréquence et aux essais de choc électrique, ont été renvoyées à une prochaine session.

La Commission a admis la proposition présentée au sujet de la normalisation des intensités de courant, des propositions devront être faites à ce sujet pour la prochaine réunion.

Les délégués de la France étaient MM. BRYLINSKI et DUVAL.

COMITÉ D'ÉTUDES N° 9, MATÉRIEL DE TRACTION ÉLECTRIQUE

Les études concernant les spécifications des moteurs de traction ont été poursuivies activement durant les diverses réunions internationales

tenues depuis dix ans ; elles ont permis d'établir un premier accord sur trente-deux premiers articles qui seront publiés en détail et qui réalisent déjà un accord très satisfaisant. Ces 32 articles ont été approuvés sous réserve de quelques rectifications qui vont être apportées dans la rédaction de certains articles (25, 26, 28, 29).

La discussion s'est poursuivie sur les textes des articles 33 et suivants.

Pour les essais de survitesse, on a proposé 2,5 fois la vitesse unihoraire pendant deux minutes à chaud. On préparera un texte définissant la tension d'alimentation des réseaux de traction et ses limites de variation.

Les questions soumises à l'étude pour les prochaines réunions sont :

Proposition de codification des essais de commutation.

Conditions de détermination des échauffements pour les moteurs à courant continu et pour les moteurs monophasés.

Détermination des méthodes de mesure des échauffements des paliers.

Essais sous variations brusques de tension.

Essais de démarrage.

Caractéristiques des moteurs.

Spécifications concernant les transformateurs, l'appareillage du matériel roulant et l'appareillage des sous-stations.

Prescriptions concernant les redresseurs à vapeur de mercure et l'emploi des détecteurs de température dans les gros moteurs.

Surtensions dans les réseaux de traction.

Les délégués de la France étaient MM. PÉRIDIER et GIRAULT.

COMITÉ D'ÉTUDES N° 10, DES HUILES ISOLANTES

Après examen des rapports présentés, la commission a reconnu tout d'abord, qu'aucune des méthodes nationales qui lui étaient parvenues, n'était susceptible d'être adoptée comme méthode internationale.

Il fut alors admis qu'une sous-commission composée de délégués de : Allemagne, France, Grande-Bretagne, Italie et Suède, serait chargée d'étudier la préparation d'une méthode internationale au sujet de laquelle quelques principes furent précisés après discussion.

Parmi ces principes, ceux qui suivent furent envisagés.

Le degré d'altération pourra être évalué par l'importance du dépôt exprimé en poids, par l'indice de saponification et l'acidité. Plusieurs

durées pourront être admises pour l'essai, en particulier une détermination sera faite du moment de l'apparition du dépôt dans l'huile chaude.

On emploiera pour les épreuves un vase fermé avec condenseur pour recueillir les parties volatiles ou produits d'altération, on cherchera à préciser le mode d'oxydation et la forme du vase d'épreuve.

L'essai international sera fait à 110° C, mais des expériences pourront être envisagées entre 100° et 130° C. On tomba d'accord (sauf le représentant des Etats-Unis) pour baser la méthode d'essai au catalyseur sur l'utilisation de l'action du cuivre ; des expériences pourront toutefois être faites avec emploi du fer et du couple fer-cuivre.

La sous-commission précisera le mode d'envoi des échantillons d'huile, le mode de conservation, la méthode de purification par filtration. Le mode d'échantillonnage présenté par le délégué des Etats-Unis à Bellagio fut accepté.

Les méthodes de mesure de la tension de claquage, présentées par la Grande-Bretagne (éclateur à sphères) et les Etats-Unis (éclateur à disques) furent prises en considération comme méthode d'essai de la propreté physique de l'huile, mais non retenues comme méthodes internationales.

Chaque pays sera libre d'employer l'appareil du commerce pour la mesure de la viscosité, mais pour les échanges internationaux, les viscosités devront être exprimées en centipoises cinématiques. Il est demandé à chaque comité national de préparer les tables de conversion convenables, le comité national conservera toutefois la responsabilité de l'usage de sa table en son pays. Les Comités Nationaux devront également remettre des propositions concernant un certain nombre de températures universelles étalons pour la viscosité.

La coordination des travaux sera assurée par M. le Professeur Weiss de Strasbourg.

Les délégués de la France étaient MM. Weiss et Girault.

COMITÉ D'ÉTUDE N° 11 DES LIGNES AÉRIENNES.

La délégation belge a présenté à la réunion un important travail (document II, secrétariat 101) comparant les documentations relatives aux lignes aériennes en vigueur dans les différents pays.

Il fut reconnu que ce travail très complet (brochure de 68 pages), présentait un grand intérêt de réglementation, la commission émit le

vœu que les Comités Nationaux voulussent bien continuer à faire parvenir régulièrement au Comité Belge les renseignements permettant de tenir ce travail constamment à jour et que de nouvelles éditions fussent présentées à chaque réunion plénière.

Le Comité Britannique ayant présenté un document relatif à l'établissement d'une formule permettant d'exprimer les charges et la stabilité mécanique des conducteurs, il fut après longue discussion reconnu désirable d'établir, s'il est possible, une formule mathématique constituant éventuellement une base de comparaison, à la fois suffisamment simple et pleinement satisfaisante, entre les diverses réglementations nationales.

Les Comités Nationaux devront envoyer au Comité Belge leurs propositions à ce sujet avant le 1er juillet 1931.

Un travail d'ensemble du Comité des Etats-Unis présentant toutes les questions à considérer dans l'établissement des lignes aériennes, fut renvoyé pour étude au Comité Belge.

Ce Comité rassemblera également et adressera à tous les Comités Nationaux, le tableau des réponses qu'il a reçues à ses sept questions concernant les traversées spéciales sur lignes électriques, la mise à la terre des lignes rompues, l'influence du fil de terre au-dessus des lignes, l'influence de la poussée et du frottement des terres dans la stabilité, l'influence de la flexibilité des supports, l'emploi des filets de protection, la signalisation des lignes à l'aviation.

Le délégué de la France était M. Brylinski, le Comité d'études était présidé par M. Duval.

COMITÉ No 12 DES RADIOCOMMUNICATIONS.

Le Comité hollandais avait préparé des propositions concernant les questions suivantes :

Normalisation des culots de lampes à 3 et 4 électrodes.

Spécification d'une valeur maximum de la résistance au contact entre les broches et les culots de lampes.

Normalisation des prises de courant des amplificateurs.

Normalisation du sens de mouvement des divers organes mobiles.

Règles de sécurité pour les appareils alimentés en courant alternatif.

Choix de symboles pour les grandeurs caractéristiques des lampes.

Ces questions ont été discutées, mais un accord n'a pu être réalisé par suite de la divergence d'opinions des représentants de divers Comités, notamment des délégués des Etats-Unis et de la France.

Le Comité italien a présenté une proposition relative aux règles pour la commande des tubes électroniques à cathode incandescente à haut degré de vide, cette proposition a été renvoyée pour étude, ainsi que celle relative aux moyens à employer pour protéger les appareils contre les parasites industriels.

Le délégué de la France était M. JOUAUST.

COMITÉ N° 13, DES APPAREILS DE MESURES

Les réunions antérieures du Comité avaient permis de réunir des propositions très étudiées, de sorte qu'on a pu établir un projet de normalisation des compteurs, wattheuremètres et des transformateurs de potentiel à employer avec ces compteurs.

Une sous-commission, dont fait partie M. ILIOVICI, a été chargée de préparer les études relatives à la normalisation des appareils de mesure industriels : une réunion du Comité est prévue à Londres en 1931.

Les délégués de la France étaient M. CORNUAULT et M. ILIOVICI.

COMITÉ D'ÉTUDES N° 14

Spécification des cours d'eau.

Le Comité a pour objet de définir les bases de calcul et les unités à employer pour spécifier les ressources hydrauliques dans les statistiques nationales et pour permettre la comparaison entre les diverses rivières

Quelques résolutions ont été adoptées, savoir :

La puissance sera exprimée en kilowatts.

La chute sera exprimée en mètres ou en pieds anglais.

La puissance indiquée sera basée sur la chute brute.

Pour les débits, on indiquera : le débit minimum obtenu pendant 95 pour cent de l'année et le mois du minimum : le régime semi-annuel obtenu pendant 50 pour cent de l'année, le débit moyen arithmétique de l'année, on pourra indiquer en supplément les débits disponibles pendant 75 pour cent et 25 pour cent de l'année.

En cas d'accumulation, on indiquera la capacité d'accumulation du bassin en kilowattheures bruts.

Pour les usines installées, on indiquera la puissance installée des turbines en kilowatts.

COMITÉ D'ÉTUDES N° 15, DE LA GOMME LAQUE

On propose d'étendre les travaux du Comité non seulement à l'étude de la gomme laque pure, mais encore aux résines isolantes. Le délégué américain présente un résumé des spécifications du Comité américain ; le délégué allemand indique que les deux essais effectués en Allemagne sont le dosage en résine et le dosage en résidus minéraux dans les cendres. Il est décidé de demander à tous les Comités nationaux d'envoyer leurs propositions relatives aux spécifications et aux méthodes d'essais en usage en leurs pays.

COMITÉ D'ÉTUDES N° 16, DES MARQUES DES BORNES

Depuis plusieurs années, trois systèmes sont proposés pour les marques des bornes des machines.

Le système mnémonique proposé par la France ;

Le système arbitraire proposé par la Suisse;

Le système américain proposé par les Etats-Unis ;

Jusqu'à ce jour, aucun accord n'a pu être réalisé.

Il fut proposé, à titre de transaction, d'adopter :

Le système français pour les machines à courant continu :

Le système suisse pour les machines à courant alternatif.

Un Sous-Comité comprenant des délégués allemand, britannique, français et suisse examinera la question.

On a examiné la définition du sens de rotation des machines, des marques des bornes pour les appareils et compteurs, et la question de la couleur des conducteurs.

Les délégués de la France étaient MM. Girault et Cassegrain.

COMITÉ D'ÉTUDES N° 17 (Interrupteurs à huile).

Le Comité proposa et fit ratifier sous réserve d'application de la règle des six mois, les définitions suivantes :

Pouvoir de fonctionnement. — Le pouvoir de fonctionnement d'un interrupteur dans l'huile est défini par une ou plusieurs séries d'opérations que cet interrupteur peut supporter dans des conditions déterminées de courant de tension, de facteur de puissance et de fréquence.

Séries d'opérations. — Une série d'opérations consistera en un nombre spécifié d'opérations d'ouverture ou de fermeture se succédant dans un ordre et à des intervalles de temps spécifiés.

La série normale d'opérations de coupure (spécialement pour les essais en usines), consistera en une succession d'opérations d'ouverture et de fermeture, précisée par la formule suivante :

O — 3 — CO — 3 — CO, dans laquelle O est l'opération d'ouverture, C l'opération de fermeture et 3 un intervalle de temps de 3 minutes. L'ouverture doit suivre immédiatement la fermeture sans aucun retard artificiel.

La série normale d'opérations de fermeture (lorsque son emploi est nécessaire) consistera en C — *t* — C. Dans cette formule C est l'opération de fermeture et *t* un intervalle de temps d'au moins trois minutes.

Tension. — La tension déterminant le pouvoir de fonctionnement de l'interrupteur sera la tension de rétablissement immédiatement après la coupure sur toutes les phases.

Courant de rupture. — Le courant de rupture pour déterminer le pouvoir de fonctionnement de l'interrupteur sera égal à la valeur efficace de la composante alternative du courant dans chaque pôle du disjoncteur, pendant la coupure, au moment de la séparation des contacts.

La composante continue du courant de coupure ne sera pas supérieure à 30 pour cent de la valeur efficace de la composante alternative.

La règle précédente ne s'applique pas aux interrupteurs destinés à fonctionner dans des conditions où la composante continue est plus grande.

Courant de fermeture. — Le courant de fermeture déterminant le pouvoir de fonctionnement d'un interrupteur sera la valeur maxima du courant, y compris sa composante continue traversant l'interrupteur au moment de la fermeture du circuit.

Courant de temps réduit. — La valeur du courant de temps réduit est la plus haute valeur efficace que l'interrupteur peut supporter pendant 5 secondes dans sa position complètement fermée.

Facteur de puissance. — *a*) Tout interrupteur dans l'huile doit pouvoir fonctionner convenablement quelque soit le facteur de puissance;

b) l'essai sera fait avec un facteur de puissance inférieur à 0,15 ;

c) le facteur de puissance sera déduit de l'oscillogramme.

et la recommandation suivante :

Puissance de coupure. — Le Comité recommande que l'on ne spécifie pas les interrupteurs en kVA.

Ces décisions donnaient d'une façon générale satisfaction aux observations du Comité Electrotechnique Français, sauf sur l'intervalle

entre les opérations et le temps de courant de temps réduit, plusieurs nations ayant manifesté une position très nette et très forte basée sur des expériences à leur sujet.

Il fut également admis que pour un certain nombre d'appareils la normalisation du sens des commandes et des feux de position pouvait sans inconvénient être réglementée.

Pour une première réunion du Comité d'Études n° 17, les décisions prises sont un succès important car les définitions adoptées permettent déjà d'éliminer de sérieuses différences d'interprétation quant aux garanties précisées par divers pays pour les interrupteurs à huile, et elles ouvrent heureusement la voie à l'établissement de règles internationales.

Le délégué de la France était M. Demany.

COMITÉ D'ÉTUDES N° 19, DES MOTEURS A COMBUSTION INTERNE

Les deux séances tenues à Stockholm par le Comité d'Etudes n° 19, des moteurs à combustion interne ont été consacrées à l'examen des propositions britanniques et américaines concernant les spécifications de ces moteurs et les règles à suivre pour leurs essais. — Documents 19 (Grande Bretagne) 1 et 2 et 19 (Etats-Unis) 101 et 102.

En raison du peu de temps disponible et du fait que certains des documents ci-dessus n'avaient pu être encore examinés par les Comités nationaux, aucune décision ferme n'a été prise et la discussion s'est bornée à un échange de vues sur quelques points particuliers.

Les principaux de ces points sont les suivants :

Définition des moteurs couverts par les spécifications et les règles proposées. — La tendance paraît être de vouloir établir une réglementation s'appliquant à tous les moteurs à combustion interne (autres que ceux d'automobiles, d'aéronautique et de navigation), même lorsqu'ils sont destinés à une application qui n'a rien d'électrique. La délégation française a fait observer que la Commission Electrotechnique Internationale ne lui paraissait qualifiée pour traiter des moteurs thermiques qu'au point de vue de leurs relations avec l'électricité et de leur application à la conduite des génératrices électriques.

Coefficient d'irrégularité. — La définition de ce coefficient par la formule :

$$\frac{\textit{Vitesse maximum.} - \textit{Vitesse minimum}}{\textit{Vitesse moyenne}}$$

a paru prévaloir comme déjà consacrée par l'usage, sur la définition par la formule

$$\frac{\textit{Vitesse maximum.} - \textit{Vitesse minimum.}}{2\ \textit{Vitesse moyenne.}}$$

plus rationnelle, correspondant à l'écart angulaire maximum qui est la véritable quantité intéressant l'électricien.

Pouvoir calorifique des combustibles.

Les garanties de consommation sont prévues par les documents ci-dessus comme données en fonction du pouvoir calorifique *supérieur* du combustible employé, cette caractéristique étant celle que l'on obtient directement par la mesure calorimétrique, alors que la détermination du pouvoir calorifique *inférieur* (eau non condensée) exige une correction fonction de la teneur en hydrogène du combustible. La considération du pouvoir calorifique inférieur serait cependant plus logique et conduirait à des résultats plus exactement comparables, ainsi que l'a exposé la délégation italienne, puisque l'eau produite dans le moteur est évacuée de celui-ci, non à l'état liquide, mais à l'état de vapeur surchauffée.

Il a cependant été admis, que pour tenir compte de la nécessité d'obtenir une unification sur l'ensemble du marché des combustibles ainsi que des décisions prises par d'autres organismes, le pouvoir calorifique supérieur devrait toujours être pris en considération et servir de base, mais il serait possible et souvent utile, d'indiquer également le pouvoir calorifique inférieur et de s'y référer, mais, que de toute façon, il était nécessaire de toujours préciser le pouvoir calorifique pris comme base de référence.

Parmi les autres questions ayant fait l'objet d'une discussion, il convient de citer l'humidité de l'air, la nature de l'eau de refroidissement et la purification du combustible.

Les délégués de la France étaient MM. Steffel, Boucherot, Cauchois, Risler. M. Steffel présidait le Comité.

2e SECTION. – ECLAIRAGE ET CHAUFFAGE ÉLECTRIQUE

SOMMAIRE.

Présidence de M. DARMOIS

Professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris.

Le Président donne la parole à M. Maurice LEBLANC qui résume le rapport qu'il a établi avec MM. P. BARBE, J. DOURGON, A. GROULT, P. LAURENT, P. NOEL et Ph. WAGUET sur « *les enduits et les revêtements employés en architecture étudiés dans leurs rapports avec la technique de l'éclairage* » (1).

M. DARMOIS. — Je crois que M. LEBLANC n'a pas assez insisté, s'il faut convaincre les peintres, maçons, etc.., sur l'importance de bien faire les enduits ; il faudrait leur montrer, par exemple, au moyen de chiffres frappants, qu'ils gagnent 100 pour cent ou 300 pour cent, ou 1000 pour cent, comme il est dit au début du rapport.

M. DOURGNON, qui, est, je crois, le rédacteur du début, veut-il bien nous expliquer un peu ce chiffre de 10 qu'il indique ? C'est très frappant pour quelqu'un qui n'est pas prévenu : « Le flux que reçoivent les parois et objets d'une pièce est toujours supérieur au flux émis par les sources ».

Par exemple, si l'absorption moyenne est de 10 pour cent, le flux total est de 10 fois supérieur au flux émis par les sources.

Cela fait un rendement de 1000 pour cent.

M. DOURGNON. — Je crois que dans les raisonnements qu'on fait actuellement en photométrie, on raisonne trop souvent sur les flux

(1) Bulletin de la Société Française des Electriciens, 5e Série, tome I, janvier 1931 p. 33.

lumineux dans des cas où la logique voudrait qu'on raisonnât sur les quantités de lumière.

En faisant le raisonnement avec les quantités de lumière, on peut se rendre compte de ce qui se passe. Supposez une enceinte ayant un facteur de réflexion égal à 1. Vous mettez dans cette enceinte une certaine quantité de lumière. Elle ne sortira pas. Donc l'éclairement d'un point quelconque sur une surface quelconque restera constant. Donc vous aurez un éclairage sans consommer d'énergie. Supposez que vous ayiez une source qui produise constamment de l'énergie. La quantité de lumière qui se trouve à l'intérieur de l'enceinte augmente indéfiniment, par conséquent un éclairement sur une surface quelconque augmente indéfiniment.

En réalité, le facteur de réflexion est toujours différent de 1, par conséquent au bout d'un certain temps il y a un régime permanent qui s'établit entre le débit de lumière (le flux lumineux) que produit la source, et celui qu'absorbent les parois et les objets qui se trouvent dans la pièce. Evidemment, ce régime permanent s'établit avec une vitesse très grande, puisque la vitesse de la lumière est très grande. Mais si on voulait analyser vraiment le phénomène (c'est ce que M. Wacuet et moi-même avons d'abord déjà fait), il faudrait parler de l'état transitoire. Il faut bien se rendre compte que l'éclairage est un régime permanent. Prenons par exemple une sphère qui ait un haut facteur de réflexion de 0,999. Supposons que nous mettions, dans cette sphère de 3 m de diametre, une certaine quantité de lumière. On peut calculer le temps au bout duquel cette quantité de lumière sera tombée à un millième de sa valeur.

Nous avions supposé pour la simplicité du calcul que la réflexion était régulière; on avait trouvé, 3 dix-millièmes de seconde... je ne crois pas que cela soit mesurable. Nous avions pensé, à un moment donné, qu'on pourrait le mesurer, ce qui aurait été assez curieux.

Si on étudie ce régime permanent, on voit qu'à chaque instant le flux émis par la source est égal au flux absorbé. Supposons que nous prenions un facteur d'absorption moyen α. Le flux émis par la source est égal au flux que reçoivent les surfaces. En appelant f le flux émis par la source, F le flux total que reçoivent les parois, nous avons :

$$f = \alpha F,$$

α étant le facteur d'absorption plus petit que 1. Donc, F est plus grand que f.

Il ne faudrait pas tout de même mal interpréter cette proposition et se figurer que le flux utile est toujours supérieur au flux émis par les

sources. Il pourrait l'être, à condition que le plan utile, le sol par exemple, ait un facteur de réflexion assez élevé. Mais si vous admettez que tout le flux qui tombe sur le plan utile est entièrement absorbé, évidemment à ce moment-là le flux qui tombe sur le plan utile, le flux utile, est forcément inférieur au flux émis par les sources.

M. Darmois. — Autrement dit, ces rendements extraordinaires n'auront lieu que lorsqu'il n'y aura rien du tout dans l'enceinte, seulement les parois ?

M. Dourgnon. — Le flux dit utile n'est généralement pas effectivement utilisé, le seul qui le soit est celui qui entre dans l'œil. C'est pourquoi on se figure que les propositions précédentes qui sont relatives au flux tombant sur les parois ou au flux tombant sur le plan utile sont contraires au principe de la conservation de l'énergie.

M. Darmois. — Cela a l'air tellement frappant.

M. Dourgnon. — En effet, nous l'avons déjà mentionné exprès pour frapper.

Dès qu'on a un local qui a un facteur de réflexion élevé, il faut pour conserver de bons résultats n'avoir aucun objet absorbant. Si l'on a un sol foncé, il y a une absorption considérable par le sol ; dès que l'on met un sol blanc, le résultat est tout différent. Des essais ont été faits, il y a déjà assez longtemps, à ce sujet ; nous en avons cité ici même, l'année dernière. Il m'est arrivé souvent de me trouver sur des chantiers où l'on avait installé l'éclairage, et où la décoration manquait encore. Le sol était blanc, j'ai été surpris de voir l'éclairage extraordinaire qu'on avait. Dès que la décoration était posée, les résultats devenaient tout à fait ordinaires.

M. Darmois. — Voudriez-vous donner également quelques explications sur les surfaces gaufrées, leur intérêt ?

M. Dourgnon. — Cette question est extrêmement délicate. Nous avons été très gênés, parce qu'il est très difficile de préciser quand on dira qu'on a une surface lisse et mate, ou une surface irrégulière. Nous avons dit simplement que la surface est lisse et mate quand elle paraît lisse et mate à l'œil sans instrument d'optique, et qu'elle est au contraire gaufrée ou granulée quand on voit à l'œil les irrégularités. Nous avons adopté cette façon de présenter la question, en tenant compte de ce que, probablement, le phénomène qui se produit est à peu près le même

dans les deux cas, puisque les irrégularités d'une surface lisse et mate sont toujours bien supérieures à la longueur d'ondes.

Nous avons cherché alors à voir quelle pourrait être l'influence de ces irrégularités ; mais lorsqu'il s'agit de surfaces irrégulières, nous ne parlons plus de facteur de réflexion, pour bien montrer que ce n'est pas à proprement un facteur de réflexion qui est en jeu. Le cas peut se présenter par exemple pour un tissu, des rideaux. Vous mesurez le facteur de réflexion du tissu lui-même ; puis vous allez le mettre en place, vous l'utilisez dans la décoration. Vous pouvez avoir un rideau plissé : à ce moment, ce n'est plus le facteur de réflexion qui intervient, c'est ce que nous avons appelé le rendement de réflexion. Dès que vous avez un flux qui tombe sur une surface irrégulière, chaque élément renvoie la lumière ; il y a une portion seulement qui est réfléchie au dehors ; l'autre est renvoyée dans la cavité. Dans cette cavité elle-même, ce flux est à nouveau réfléchi, et ainsi de suite, ainsi que le montre la figure 1.

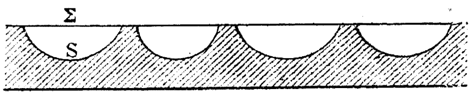


Fig. 1.

Donc, le flux total qui est réfléchi par la paroi est inférieur au flux qui serait réfléchi s'il n'y avait pas d'irrégularité. Pour pouvoir analyser la question, nous avons pris le cas, qui pouvait se traiter mathématiquement, où on avait des surfaces concaves uniformément éclairées.

M. Darmois. — Il faut une certaine régularité, si l'on peut dire, dans l'irrégularité.

M. Dourgnon. — Si l'on admet cela, le calcul est très simple ; nous l'avons fait M. Waguet et moi, l'année dernière aux séances d'octobre. On trouve une certaine fonction dans laquelle interviennent $\frac{\Sigma}{S}$ (qui représente l'irrégularité) et le facteur de réflexion. Nous voudrions généraliser cela, et voir si l'allure du phénomène sera la même dans le cas de surfaces quelconques et d'irrégularités qu'on ne connaît pas.

M. Darmois. — Vous croyez que cela donne des rendements de réflexion aussi bas que ceux que vous présentez ?

M. Dourgnon. — Je pense qu'ils doivent être assez nettement inférieurs au facteur de réflexion. M. Waguet prépare actuellement une technique de mesures qui nous permettra de contrôler nos idées.

M. Darmois. — Si on se met à faire de l'éclairage par le plafond, comme on l'a commencé, ces questions ont de l'importance.

M. Dourgnon. — Actuellement, on fait l'éclairage par le plafond et par les murs. Personnellement, je suis très partisan d'utiliser les murs (en réalité pendant le jour, vous avez de l'éclairage par une surface verticale). Cet éclairage est beaucoup plus agréable que l'éclairage par le plafond. Ce qu'on reproche à l'éclairage par le plafond, c'est en particulier de supprimer les ombres, et de ne pas donner de relief parce que la lumière arrive de tous les côtés. Si l'on éclaire une surface aussi grande que le plafond, mais verticale, on a immédiatement un relief, ou plutôt un « effet » ; un objet n'est pas pareil, vu dans toutes les directions, on a un éclairage tout à fait gai, qui n'est pas monotone et triste comme l'est souvent l'éclairage indirect par le plafond.

M. Darmois. — Il n'y a plus de papier sur les murs alors?

M. Dourgnon. — Ou bien alors on fait un éclairage indirect sur une partie du plafond ; on fait des plafonds qui descendent assez bas sur les murs, le papier n'est posé qu'au-dessous.

La Société pour le Perfectionnement de l'éclairage publie actuellement une nouvelle édition de « L'éclairage des intérieurs » : nous avons des photographies d'éclairage de murs, et d'éclairage aussi par une plaque : une glace dépolie, sans tain, qui se trouve entre les fenêtres. La surface en est à peu près aussi grande que celle des fenêtres. De cette façon, pendant la nuit, on a un éclairage qui se rapproche de celui du jour, je crois qu'il est préférable à celui qu'on peut réaliser par les fenêtres mêmes, qui sont faites pour recevoir la lumière du jour. Si on veut essayer un éclairage artificiel par les fenêtres, il ne donne pas de bons résultats ; avec la surface fixe, on peut faire ce qu'on veut ; cela consomme beaucoup, mais le résultat est intéressant.

M. Darmois. — Certains chiffres du rapport de M. Waguet sont très frappants. Les facteurs de réflexion varient depuis 0,82 ou 0,83 sur le marbre blanc, jusqu'à 0,04 pour le papier noir. Pour le papier bleu roy, c'est 0,05 : il ne réfléchit pour ainsi dire pas plus que le noir. C'est également un peu étonnant.

Discussion des Rapports annuels présentés à la 2 Section (1)

M. le Président. — Messieurs, nous passerons si vous le voulez aux

(1) *Bulletin de la Société Française des Electriciens*, 4e Série, t. X, n° 111, novembre 1930, p. 1216.

rapports annuels présentés à la 2e section. La liste vous en a été donnée dans le *Bulletin de la Société Française des Electriciens*, du mois de novembre. Est-il ici quelqu'un qui ayant lu ces mémoires, ait des observations à présenter ou des idées à émettre ? Nous avons eu, en particulier, au bulletin de novembre, une étude très intéressante de M. le docteur Haas sur « les progrès de l'optique physiologique ». Au début de son article, il est question de choses auxquelles nous ne sommes pas habitués. On y parle de l'œil des oiseaux, de la façon dont ils voient en relief... M. le docteur Haas n'a pu malheureusement se trouver parmi nous aujourd'hui.

Quelqu'un demande-t-il la parole ?

M. Leblanc. — Je désirerais dire quelques mots au sujet du rapport de M. Cabet, sur l'éclairage des studios, à propos de l'emploi des lampes à arc ou des lampes à incandescence pour la prise de film sonore. On avait d'abord proscrit complètement les lampes à arc au profit des lampes à incandescence, parce qu'il était presque impossible d'obtenir un fonctionnement silencieux des charbons. M. Cabet dit (p. 1232) que le seul procédé employé pour empêcher ce bruit est un procédé étranger. Je crois que ce n'est plus exact aujourd'hui. Nous avons eu à la Société des Ingénieurs de l'éclairage, l'occasion de visiter les studios de Ciné-Romano, Films de France à Joinville où le procédé employé est dû à un ingénieur français, de la Société Radio-énergie.

Ce procédé est considéré comme encore secret, on n'a pas voulu nous dire exactement en quoi il consistait, mais nous avons pu constater son efficacité. Il n'y a certainement rien de mystérieux : on utilise des filtres d'un type spécial placés près des commutatrices.

M. Abgrall. — J'ai demandé tout récemment à M. Yedel, un rapport sur ce sujet pour notre section. Nous en aurons communication d'ici un mois ou deux.

Je ne sais pas exactement comment sont les filtres employés, on se sert d'accumulateurs en tampons. C'est un système extrêmement simple : il se compose de batteries d'accumulateurs et de transformateurs ordinaires.

M. Leblanc. — C'est une question bien connue ; toutes les fois qu'on doit filtrer un courant redressé, c'est-à-dire un courant dans lequel il y a une forte composante continue, avec composuperposition d'une

composante alternative de faible amplitude, on est gêné par la composante continue qui sature les selfs du filtre.

Dans le cas des studios il s'agit de filtrer des courants d'une intensité de 3 000 à 4 000 ampères, la difficulté est sérieuse. C'est un problème que l'on a eu à résoudre pour empêcher l'action du courant de redresseur à mercure sur des lignes téléphoniques voisines. Au début, nous avions pris des selfs sans fer, je crois qu'il est plus économique d'employer des enroulements démagnétisants, et je pense que les accumulateurs sont précisément employés à faire passer ce courant continu de sens inverse au courant normal. Il est actuellement question de remplacer les accumulateurs par des dynamos, mais il est nécessaire qu'elles n'introduisent pas elles-mêmes un bruit de friture, leur construction présente donc certaines difficultés.

M. Abgrall. — Il parle d'ailleurs d'appliquer ses tampons dans les P. T. T. pour empêcher la perception des bruits occasionnés par les batteries centrales. C'est meilleur que les filtres employés auparavant, dont parle M Gabet. On avait des résultats approximativement bons, mais qui n'étaient pas utilisables pour les projecteurs dépassant environ 80 à 100 ampères. Actuellement, les Ciné-Romano et d'autres studios arrivent à filtrer des projecteurs de 300 ampères facilement.

M. Leblanc. — Je croyais jusqu'ici, qu'on ne pouvait empêcher complètement les arcs de siffler, même sur courant parfaitement continu ; mais dans le cas qui nous occupe, c'est le courant d'alimentation lui-même que l'on filtre, il semble donc que l'arc ne faisait que reproduire, sous forme sonore, les irrégularités de la dynamo ou la commutatrice.

M. Abgrall. — On a d'abord essayé de filtrer aux appareils mêmes, et les résultats ont été inférieurs ; ensuite, on a filtré à la sortie des commutatrices et on a obtenu un résultat ; c'est le procédé Pierson.

M Meyer. — On constate, avec le courant continu, un sifflement quand l'arc s'allonge. Quand il est normal, il n'y a pas de sifflement. Si avec un arc à courant continu qui fonctionne normalement on a du sifflement par suite de l'allongement de l'arc, ces moyens évitent le sifflement.

M. Leblanc. — Je ne crois pas qu'on puisse arriver à ce résultat avec tous les charbons, il est nécessaire d'utiliser des charbons spéciaux.

M. Darmois. — On l'évite tout simplement en réglant l'arc à la longueur voulue.

M. Meyer. — Il y a une longueur pour laquelle l'arc ne crépite pas.

M. Leblanc. — J'ai constaté qu'il y avait encore un crépitement irrégulier dû probablement aux variations de longueur, mais il n'y a plus ce sifflement permanent qui existe lorsqu'on supprime le filtre, et qui est inacceptable pour la prise de film sonore.

M. Abgrall. — Les temps d'utilisation sont relativement courts pour le film sonore. La moyenne des temps d'enregistrement est de l'ordre de 30 secondes à 1 minute. L'arc n'a donc pas le temps de se dérégler, puisqu'on amorce les arcs juste au moment d'enregistrer.

Séance du Mardi 25 Novembre 1930.

3e SECTION. — ELECTROCHIMIE. — ELECTROMETALLURGIE. PILES. — ACCUMULATEURS.

Sommaire.

1° Présentation du rapport de M. Levasseur sur les progrès récents de l'emploi du four électrique en aciérie, p. 265

2° Discussion du rapport de M. Ballay sur les méthodes modernes de nickelage. — M. Marie : emploi de l'acide chlorhydrique. — M. X : proportion des déchets. — M. Marie : méthode décelant les piqûres, p. 266.

3° Discussion du rapport de M. Dufour sur les électrolytes forts. — M. Marie : différences entre les électrolytes forts et faibles, p. 266.

Présidence de M. Ch. Marie,

Directeur du Laboratoire d'Electro-Chimie de l'Ecole Pratique des Hautes-Etudes.

M. Levasseur présente son rapport sur les *progrès récents de l'emploi du four électrique en aciérie* (1).

M. Ballay présente son rapport sur *les méthodes modernes de nickelage* (2).

M. le Président. — M. Ballay a omis de nous dire quelle part il a prise dans le nickelage à haute densité de courant.

M. Wall. — Je voudrais simplement signaler qu'il y a une très grosse installation continue, d'origine allemande, depuis un mois à Asnières, aux « Radiateurs Chausson ».

M. Ballay. — Il n'en est pas moins vrai que ces installations continues sont très rares en France.

M. le Président. — J'ai été frappé de ce que vous avez dit au sujet de l'acide chlorhydrique. Est-ce de l'acide chlorhydrique fortement concentré ?

M. Ballay. — 5 à 10 pour cent. C'est une pratique qui est générale

---

(1) *Bulletin de la Société Française des Electriciens;* 4e Série, t. X, no 108, Août 1930, p. 850.

(2) *Bulletin de la Société Française des Electriciens*, 4e Série, t. X, no 105, Mai 1930, p. 545.

aux Etats-Unis. Dans la plupart des usines d'automobiles américaines on fait cette opération.

Aux Etats-Unis on nickèle souvent l'acier sur dépôt préalable de cuivre. On fait généralement du nickelage, du cuivrage, puis du nickelage et il est absolument courant de passer des pièces, après cuivrage, dans la solution d'acide chlorhydrique.

M. X.... — Quand on a des pièces, enfilées les unes à côté des autres, quelle est la proportion des déchets?

M. Ballay. — Cela dépend beaucoup du soin apporté à la préparation. Dans une opération bien conduite, la proportion des déchets ne doit pas dépasser 2 pour cent.

M. le Président. — On est obligé de passer les pièces à l'examen?

M. Ballay. — Il y a un moyen automatique, pour ainsi dire; c'est l'avisage après nickelage. C'est une épreuve assez dure pour les pièces et l'ouvrier qui avise les pièces élimine la plupart des mauvaises de cette manière.

M. le Président. — Par quelle méthode peut-on se rendre compte de l'importance des piqûres, des petits trous dans les couches de nickel, quand elles ont 2/100 d'épaisseur?

M. Ballay. — Une des méthodes les plus usitées pour cela, sur l'acier par exemple, est la méthode au ferricyanure. On plonge les pièces dans une solution de ferricyanure chlorurée, et on voit apparaître des petits points bleus. Il existe même des papiers qu'on trouve dans le commerce maintenant, qu'on appelle papiers « Poroscope ». Les papiers ont été trempés dans une solution de ferricyanure; on mouille ce papier au moment de l'emploi et on l'applique.

M. le Président. — Et sur le cuivre?

M. Ballay. — C'est la même méthode; il se forme des taches brunes.

III. — M. R. Dufour présente son rapport sur *les électrolytes forts* (1).

M. le Président. — Messieurs, je remercie M. Dufour d'avoir pris la peine de rédiger cet exposé dont nous trouverons le développement, dans le Bulletin. M. Dufour a été obligé de lire un nombre considérable de mémoires fort complexes et de les résumer.

Les différences entre les électrolytes faibles et les électrolytes forts ne sont pas encore complètement claires et j'ai peur que ces distinctions

(1) *Bulletin de la Société Française des Electriciens*, 4e Série, t. X, n° 110, Octobre 1930, p. 1080.

ne soient qu'un artifice : ainsi, dire que l'acide acétique existe en solution sous deux formes que chimiquement nous ne connaissons pas, cela me semble un artifice de calcul.

M. Dufour. — Un certain nombre de faits sont en faveur de cette façon de voir.

On a trouvé, il y a déjà très longtemps, des substances, en général des substances organiques (en particulier, si je me rappelle bien, des hydrates d'ammonium quaternaires, hydrate de méthyl, phényl-acridinium) ayant la propriété suivante : quand on les met en solution aqueuse, leur conductibilité varie pendant un temps quelquefois considérable, pendant 24 heures. La conductibilité peut tomber à une très petite partie de sa valeur initiale. Donc, il faut bien admettre que la forme initiale était fortement dissociée, puisque la conductibilité était élevée, et que ce qui reste à la fin dans la dissolution l'est heureusement moins.

Il existe un assez grand nombre de substances comme celle-là, ce qui permet de penser qu'un même ensemble chimique est susceptible d'exister dans une solution sous deux formes en équilibre, l'une dans laquelle les liaisons ne sont pas de nature électrolytique, et l'autre dans laquelle se trouvent des ions.

D'autre part, il y a des phénomènes tout à fait différents, qui confirment cette façon de voir.

Les rayons X ont permis de montrer que, dans un cristal de sel marin, par exemple, l'ionisation était déjà accomplie. Les particules qui sont aux nœuds du réseau cristallin sont des ions.

D'autre part, on a pu faire des analyses par rayons X d'autres substances à l'état cristallin, et on a constaté que dans certains cas ce n'étaient pas des ions, mais des molécules qui existaient.

Il y a donc une grosse différence, même dans un cristal, entre une molécule ionisée (non dissociée) et une molécule non ionisée.

Par exemple, l'acide acétique envisagé à ce point de vue se présenterait sous la forme ionisée ($CH^3CO^3 - +$), la forme non ionisée se présenterait de la façon suivante :

$$CH^3 - C \begin{matrix} \nearrow O \\ \searrow OH. \end{matrix}$$

Et, si nous avons affaire à l'acide acétique cristallisable dans son cristal, aux nœuds du réseau, nous aurions des molécules non ionisées.

Lorsque nous mettons ces molécules non ionisées dans l'eau, immédiatement, l'équilibre tend à s'établir entre les deux formes et

nous aurons 99,5 0/0 de la forme non ionisée, et la partie ionisée se dissociera pratiquement complètement comme tous les électrolytes forts.

Il y a donc un ensemble de faits qui rendent cette façon de voir très cohérente et très probable.

Il serait intéressant de dissoudre les électrolytes faibles les plus importants comme l'acide acétique, de voir si effectivement, dans les premiers instants de la dissolution, on observe ce changement de conductibilité ; seulement il se peut que le temps d'établissement de l'équilibre soit très court, comme pour la plupart des électrolytes faibles habituels, alors que par bonheur il existe certains électrolytes, comme les hydrates d'acridinium quaternaires, qui présentent cette variation lente de conductibilité quand on les dissout.

M. le Président. — Il faudrait faire le diagramme de l'acide acétique cristallisé ; les sommets du réseau doivent être occupés par les molécules.

M. Dufour. — Je ne sais pas si cela a été fait. Mais ce sont vraisemblablement des molécules et non des ions qui existent dans le cas de l'acide acétique, en particulier en raison du point de fusion très bas.

TRAVAUX DES SECTIONS

NOTE DE M. BOUCHEROT AU SUJET DE LA COMMUNICATION DE M. HEYBERGER SUR L'APPAREIL « MADER OTT » POUR L'ANALYSE DES COURBES PÉRIODIQUES (1).

M. BOUCHEROT nous a adressé la lettre suivante :

Mon cher Président,

Le Bulletin de la Société d'Août 1930, contient une communication qui m'a intéressé plus spécialement, sur un appareil « Mader Ott » pour l'analyse des courbes périodiques. Voulez-vous me permettre de faire remarquer que j'ai réalisé, il y a très longtemps, un analyseur dont le *principe* me paraît être le même. Je l'ai présenté dans « La *Lumière Electrique* du 12 août 1893. C'était un appareil extrêmement simple utilisant aussi le planimètre tellement simple que j'ai pu le réaliser moi-même avec des moyens rudimentaires, et qu'il m'a donné de bons résultats. L'artifice est le suivant (je me cite textuellement) « Le planimètre devant effectuer à chaque instant la surface élémentaire.

$$f(x) \sin nx \, dx,$$

il est indifférent que cette surface soit obtenue en prenant $f(x) \sin nx$ pour hauteur et dx pour base, ou $f(x)$ pour hauteur et $dx \sin nx$ pour base. » C'est là le principe ; les mécanismes pour réaliser cela peuvent être différents ; j'en ai d'ailleurs indiqué plusieurs. Celui de Mader Ott est différent.

Veuillez agréer, mon cher Président, l'expression de mes sentiments dévoués.

M. HEYBERGER, ingénieur E.S.E., à qui nous avons adressé la lettre de M. BOUCHEROT, nous a répondu qu'à sa connaissance l'analyseur de M. BOUCHEROT n'a pas été construit industriellement ; il rappelle, en outre, à cette occasion, que M. MATHIEU, Ingénieur. A et M. et E.S.E. présenta le 2 décembre 1927 à la 1re Section de la Société Française des Electriciens une méthode graphique particulièrement simple d'analyse de courbes périodiques. Cette méthode est exposée dans le n° 89 de février 1928 de la Revue *Arts et Métiers*.

(1) Communication présentée à la séance du 8 février 1930 de la 6e Section. Voir *Bulletin de la Société Française des Electriciens*, n° 108, août 1930.

L'ECLAIRAGE MODERNE DES MUSÉES

par M. Cellerier

Directeur du Laboratoire d'Essais
du Conservatoire National des Arts et Métiers

M. Cellerier *qui, comme Directeur du Laboratoire des Recherches scientifiques, représentait le Musée du Louvre à la Conférence internationale des Musées nationaux, à Rome en septembre 1930, a bien voulu faire part, à la 2e Section de la Société Française des Electriciens, des observations qu'il avait présentées lors de cette Conférence et que nous exposons ci-après.*

A l'issue de la réunion de la 2e Section, tenue le 13 janvier 1931 au Musée du Louvre, M. Cellerier *a fait une très intéressante démonstration expérimentale de l'éclairage du Salon Carré du Musée.*

I. — Adaptation des progrès de l'éclairage aux salles d'exposition d'œuvres d'art.

Les questions d'éclairage ont pris, dans ces dernières années, une importance particulière, et des progrès considérables ont été réalisés et continuent à se réaliser pour l'amélioration de l'éclairage des locaux, des bureaux, des écoles, des salles de réunion, etc...

L'attention se porte aujourd'hui également sur l'éclairage des musées. Celui-ci exige évidemment des précautions spéciales, non seulement en raison de la nature même des sujets exposés pour obtenir le meilleur éclairage, mais également pour éviter tout risque d'altération sous l'influence d'un excès de certains rayons lumineux.

En Europe, on se heurte malheureusement au fait que la plupart des musées sont d'anciens palais transformés. C'est ainsi, par exemple, que le Palais du Louvre est devenu, par suite de circonstances historiques, un musée d'art universellement renommé pour la richesse de ses collections, mais sans pour cela qu'on ait songé à détruire la beauté architecturale des bâtiments eux-mêmes ou à engager les grandes dépenses nécessaires pour une transformation radicale.

Pour trouver aujourd'hui une réalisation nouvelle et moderne de l'éclairage des musées neufs, il faut se tourner vers les pays et aller s'inspirer de musées, tels que celui de Philadelphie, aménagé dans un édifice entièrement moderne et passant, à juste titre, pour un modèle du genre.

En attendant que les œuvres d'art des musées nationaux puissent, comme il conviendrait, être installées dans des constructions modernes adaptées exactement à leur exposition et à leur conservation, on peut améliorer, dans beaucoup de cas, l'éclairage existant.

A ce sujet, on doit aux travaux du Congrès International de l'Eclairage, qui s'est tenu en Amérique en 1928, d'avoir fourni des idées nouvelles pour l'application de modes rationnels d'éclairage, idées qui commencent à se répandre et qui ont déjà produit d'heureuses transformations dans l'art de la présentation.

En France, pays de l'art par excellence, il est à souhaiter que ces idées puissent trouver leur consécration, et que les dépenses ainsi nécessitées, et d'ailleurs relativement peu importantes, aient pour contrepartie de prolonger la durée de visibilité des œuvres exposées, tout en faisant valoir leur intérêt artistique.

II. — Principes généraux.

Nous résumons ci-après les principes fondamentaux à appliquer pour l'éclairage des salles de collections, d'après les derniers perfectionnements apportés par les éclairagistes et déjà adoptés par certains musées.

Pour la *conservation des œuvres d'art*, il est de nombreux cas, surtout en peinture, où il faut éviter un éclairage trop intensif et prolongé, notamment avec des lumières contenant des quantités notables de rayons ultra violets et infra-rouges. Tel serait le cas de la lumière solaire, si celle-ci éclairait directement et trop longtemps la composition. On sait, en effet, qu'elle émet des rayons invisibles ultra-violets et infra-rouges qui, à la longue, peuvent modifier l'aspect de certaines matières premières, telles que les pigments.

Pour la *visibilité*, il faut disposer l'éclairage dans les meilleures conditions susceptibles de faire ressortir la valeur du sujet. A cet effet, le principe de l'éclairage consiste tout d'abord à éviter d'envoyer une lumière trop dure ou trop faible ou encore une lumière éblouissante provenant de sources élevées et se réfléchissant sur les peintures ou sur les protecteurs en verre.

D'autre part, la *tonalité de la lumière projetée* ne doit pas nuire au coloris du tableau, ni modifier l'ambiance d'éclairement qu'a voulu réaliser l'artiste.

Pour ces divers motifs, la meilleure solution consistera, dans la plupart des cas, à adopter l'*éclairage artificiel se rapprochant de la lumière blanche*. On emploie à cet effet des sources lumineuses à radiations con-

venablement combinées, projetées au travers de verres spéciaux ou diffusées par des surfaces réfléchissantes de façon à éviter les inconvénients, signalés ci-dessus, de déformation ou décoloration des couleurs, d'éblouissement ou de réflexions parasites, ainsi que de dégradations éventuelles par un excès de radiations ultra-violettes ou infra-rouges.

III. — Matériel à utiliser.

Nous allons distinguer plusieurs cas :

1° Eclairage des salles de peintures.

2° Eclairage des salles de sculptures, modelage, etc..

3° Eclairage des salles d'époques.

1° *Eclairage des salles de peintures.* — Nous allons considérer à part l'éclairage général et l'éclairage des toiles proprement dites.

a) *Eclairage général.* — Dans les musées non encore transformés, on utilise actuellement la *lumière du jour* pour l'éclairage général pendant la journée. Il peut donc être envisagé qu'au moment du crépuscule, l'éclairage artificiel fournisse la même impression, de façon que le visiteur ne s'aperçoive pas du changement.

Le mode d'éclairage sera : soit *direct* avec envoi de la lumière dans l'intérieur de la salle et vers le bas, soit *indirect* avec envoi de la lumière vers le plafond de couleur claire et mate qui diffuse la lumière dans les diverses parties de la salle, soit *mixte* par combinaison des deux modes précédents.

Pour *l'éclairage direct*, on peut disposer les appareils au-dessus des fenêtres et tendre devant la croisée une surface diffusante. Ces appareils sont, soit des réflecteurs de vitrines concentrants de modèle courant, soit des appareils à lampes-tubes lesquels présentent l'avantage d'émettre un faisceau plat et large, ce qui permet d'espacer ces réflecteurs.

L'inconvénient de ce dispositif est de recouvrir la fenêtre par cette surface diffusante (fig. 1).

Une autre solution consiste à disposer les appareils d'éclairage à la partie inférieure et la surface diffusante légèrement inclinée sur l'horizontale à la partie supérieure (fig. 2).

Dans les deux cas, si l'effet obtenu est intéressant, le rendement d'utilisation de la lumière produite est faible. Le flux émis par l'appareil est, en effet, reçu par une surface diffusante qui en absorbe une partie et renvoie le reste d'une façon indéterminée.

Les lampes utilisées avec ce dispositif d'éclairage sont généralement

des lampes à vide jusqu'à 60 watts et des lampes à atmosphère gazeuse au delà de 60 watts.

La lumière émise par les premières est plus jaune ce qui, pour les projections sur les tableaux, ne présente généralement pas d'inconvénient, mais au contraire met en valeur les tons chairs s'il n'y a pas exagération. Ces lampes sont d'ailleurs moins éblouissantes que celles à atmosphère gazeuse.

La lumière émise par les lampes à atmosphère gazeuse se rapproche

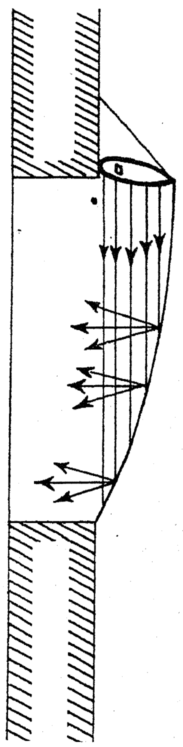


Fig. 1.

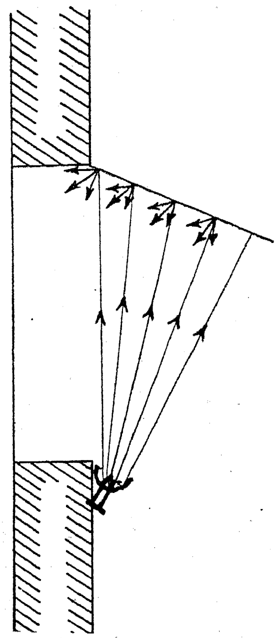


Fig. 2.

davantage de la lumière solaire, mais avec un peu de rouge que l'on peut atténuer par un filtre léger approprié.

On peut employer encore les lampes dites à « lumière du jour » qui sont constituées par une ampoule en verre bleuté spécial qui absorbe les rayons rouges en excès et également un peu de rayons ultra-violets.

Dans cet ordre d'idées, certains verres de teinte bleu verdâtre améliorent la couleur de la lumière tout en présentant la propriété d'absorption ci-dessus. Malheureusement, l'efficacité lumineuse de la lampe est réduite de 30 à 40 pour cent par rapport à celle de la lampe claire normale.

Pour l'*éclairage indirect*, il est très difficile de donner des règles générales s'appliquant aux multiples cas des salles des musées, et, pour les salles à créer, une collaboration étroite doit être établie entre l'architecte et l'éclairagiste.

Dans ce cas, on peut utiliser des gorges réfléchissantes et diffusantes, des lanternes, des corniches, des intervalles disponibles existant entre fenêtres, etc...

Quant au plafond, qui joue le rôle de diffuseur à grande surface, il doit être aussi clair et uniforme que possible.

Au Musée du Louvre, la plupart des salles possèdent de magnifiques plafonds peints en général de couleurs sombres et qu'il serait ainsi malaisé d'employer pour l'éclairage indirect.

Pour *l'éclairage mixte*, on s'inspirera des deux cas précédents suivant les circonstances.

b) *Eclairage particulier des tableaux.* — La solution la plus pratique est de disposer sur le sol, à quelque distance en avant des toiles, des

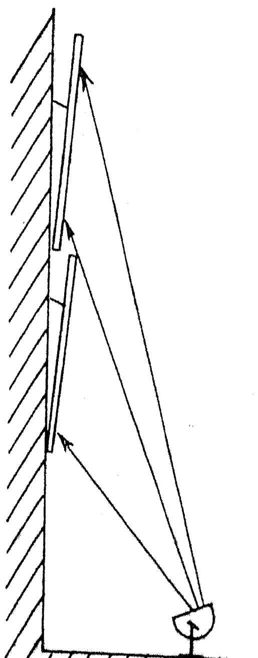


Fig. 3. — Gouttières à plaques prismatiques.

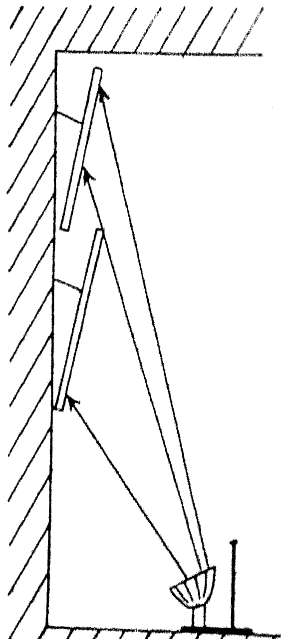


Fig. 4. — Réflecteur.

rampes à lampes ordinaires envoyant un pinceau lumineux assez étroit et un peu incliné sur la verticale.

Ces rampes peuvent être constituées soit par des *gouttières* à plaques

prismatiques circulaires, jointives ou non (fig. 3), soit par des *réflecteurs* (fig. 4) pourvus d'un cache. Le premier dispositif est, à notre avis, de beaucoup le meilleur. Les plaques employées constituent de véritables lentilles prismatiques qui permettent de diriger le faisceau exactement dans la direction voulue et de supprimer le flux direct de la lampe qui est en général très gênant.

On peut également employer des *appareils munis de lampes à filaments rectilignes* constitués par un réflecteur en métal chromé combiné avec une plaque portant des prismes parallèles. Grâce à la disposition de la source lumineuse, les appareils sont plats et peu encombrants, en sorte qu'ils peuvent être facilement dissimulés. Ils présentent en outre les avantages combinés des réflecteurs et des plaques, savoir : de fournir un bon rendement et de travailler sur le flux entier de la lampe.

Dans le cas où les salles sont très hautes, il peut arriver que les faisceaux émis ne soient pas suffisamment puissants pour éclairer les tableaux proches de la cimaise. On pourrait remédier à cet inconvénient en éloignant les rampes lumineuses des murs et en diminuant un peu l'inclinaison du faisceau, mais les appareils deviennent alors très encombrants pour les visiteurs. La meilleure solution consiste à utiliser des projecteurs disposés de l'autre côté de la pièce et éclairant normalement ou un peu en dessous les toiles placées à la partie supérieure, ou à les monter sur socle. Les projecteurs seront choisis de manière à ce qu'ils n'émettent pas un faisceau à bord trop net, pour éviter la formation de taches lumineuses sur les murs de la salle. Enfin, on pourra quelquefois utiliser des corniches ou des impostes pour dissimuler les projecteurs, mais, la lumière venant alors de haut en bas, il faudra veiller à éviter les phénomènes de réflexion sur certaines parties des tableaux, sur le vernis ou, éventuellement, sur la glace protectrice.

Observations. — Quel que soit le mode d'éclairage choisi — le plus souvent pour des motifs d'adaptation aux salles utilisées — *on devra s'efforcer de faire rendre tout son effet artistique à chaque tableau*, en accordant la tonalité de l'éclairage artificiel avec la tonalité générale du tableau.

A cet effet, nous conseillons de disposer sur la face du diffuseur du projecteur un écran légèrement coloré, autant que possible monochromatique. Bien entendu, c'est chaque fois un cas d'espèce à résoudre en tenant compte des effets produits par la radiation sur les diverses teintes.

Nous avons ainsi obtenu des résultats très intéressants en appropriant cette tonalité supplémentaire (jaune clair, orangé clair, et même légèrement violet) au sujet représenté. Toutefois, il faut agir avec beaucoup de précautions, car on risque, par un emploi inconsidéré d'une teinte supplémentaire, ou d'assombrir le tableau ou même d'en déformer l'harmonie créée par l'artiste dans son choix des différents tons.

Enfin, il faudra s'efforcer, quand cela sera possible, d'adopter, pour les *fonds* apposés sur les cloisons, des *tons unis*, neutres, gris, bleuâtres, etc.. appropriés eux-mêmes à l'échelle des tonalités des tableaux exposés, et sur lesquels les effets d'éclairage devront compléter une heureuse harmonie d'ensemble.

Dans cet ordre d'idées, « l'intuition artistique » peut être utilement complétée par des observations que nous avons antérieurement fait connaître, et qui sont basées sur certaines analogies entre le « cycle des couleurs monochromatiques » et le « cycle des quintes » de l'art musical, et s'appliquant notamment aux « mélanges des éléments », aux « harmonies », aux contrastes, aux « intensités relatives », etc...

2° *Eclairage des salles de sculptures et des salles de moulage.* — Le problème est différent de celui des salles de peintures, et, à notre avis, les meilleurs résultats doivent toujours être obtenus au moyen d'un bon éclairage général.

La solution que nous avions préconisée précédemment, éclairage indirect, ne s'applique plus ici. En effet, dans ce cas, les ombres portées sont extrêmement réduites, en sorte qu'il devient très difficile d'apprécier les contours et reliefs. Il faut, au contraire, des appareils donnant un éclairage semi-direct de façon à avoir des ombres nettes mais non brutales donnant de la vie à l'œuvre.

A cet effet, on utilisera les plafonds, les murs des panneaux, de manière à ce que la lumière diffusée ne soit pas symétriquement répartie. Pour mettre en valeur un détail d'architecture ou une statue, l'emploi d'un petit projecteur envoyant un faisceau très net du type de ceux appelés en Angleterre et en Amérique « spot-of-light » est tout indiqué, parfois en l'agrémentant d'un éclairage en couleur susceptible de donner des résultats remarquables dans le cas des porcelaines, faïences, etc...

3° *Éclairage des salles d'époque.* — Il est difficile de donner des règles précises. L'éclairage de ces salles donne d'ailleurs lieu à discussion, certains désirant voir les salles telles qu'elles étaient en réalité à

l'époque, d'autres voulant employer des appareils d'éclairage modernes. On doit s'efforcer de concilier ces deux points de vue.

Dans le cas de la reconstitution d'un ensemble, il est très intéressant d'éclairer par fausse fenêtre comme nous l'avons vu précédemment. Si cette solution n'est pas possible, on peut utiliser un faux plafond que l'on éclairera par une rampe ou des appareils dissimulés à la vue du public comme par exemple sur le schéma ci-joint (fig. 5).

Il sera bon de mélanger aux réflecteurs un appareil de champ assez

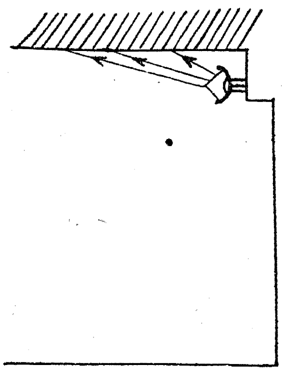


Fig. 5 — Faux-plafond par réflexion.

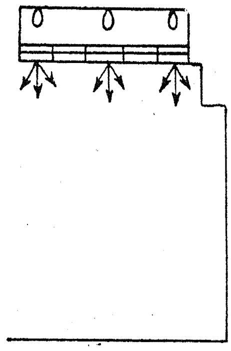


Fig. 6. — Faux-plafond par diffusion.

extensif, éclairant directement les objets exposés de façon à accuser un peu le relief.

Une solution intéressante consiste dans l'aménagement de faux plafonds lumineux au moyen de plaques prismatiques doublées de plaques diffusantes. Les effets obtenus sont remarquables. On peut évidemment soit mettre des plaques jointives, soit les espacer plus ou moins (fig. 6).

IV. — Éclairements nécessaires.

a) *Salles de peintures.* — *L'éclairage général* doit être très faible et doit uniquement servir à éviter d'avoir un contraste trop violent entre la salle elle-même et les tableaux. On ne doit pas d'ailleurs perdre de vue que la lumière diffusée ou réfléchie par les toiles va contribuer à cet éclairage et que parfois, même dans le cas d'un couloir, il pourra être suffisant. En règle générale, on peut fixer cet éclairage à *15 lux au maximum.*

L'éclairement sur les tableaux eux-mêmes doit être beaucoup plus

puissant; on peut le fixer entre *75 et 150 lux* suivant la tonalité du tableau et l'ambiance qu'a voulu créer l'artiste.

A observer qu'avec les éclairements conseillés, la quantité d'énergie reçue n'est pas suffisante pour amener la détérioration.

b) *Salles de sculptures et d'époque.* — Nous avons vu que, dans ce cas, on devait ordinairement se contenter de *l'éclairage général* qui doit être naturellement plus puissant que dans les salles de peintures. On peut fixer sa limite inférieure à *60 lux*.

De même pour les salles d'époque, sauf cas spéciaux.

V. — Conclusions.

La réalisation de l'éclairage des musées constitue un problème complexe, pour concilier à la fois les principes rationnels de l'éclairagiste et les exigences décoratives des artistes.

Il existe déjà cependant quelques exemples d'heureuses solutions, notamment au musée de Philadelphie, musée récemment édifié et dont la construction a été étudiée en tenant compte de tous les progrès modernes accomplis par l'éclairage.

Pour le cas général des Salles d'Exposition utilisées par nécessité, on s'ingénie dans les divers pays à apporter des solutions qui, sans être parfaites, permettent néanmoins au public de pouvoir apprécier des œuvres jusqu'alors reléguées dans l'ombre des salles. Les quelques principes que nous avons signalés ci-dessus peuvent seulement donner une idée de la question et montrer que de multiples précautions doivent être prises.

Dans ce sens, il est absolument indispensable qu'une collaboration étroite s'établisse entre le conservateur des collections, l'architecte et l'éclairagiste, tant au point de vue artistique qu'au point de vue de la meilleure utilisation des appareils nouveaux, sans gaspillage de lumières et sans risques d'incendie.

A titre d'essai, nous avons réalisé au Musée du Louvre un dispositif partiel d'éclairage, conseillé, pour la partie artistique par M. H. Verne, directeur des Musées nationaux, et M. Guiffrey, conservateur des Collections de Peintures.

Il s'agit du célèbre Salon Carré de notre grand Musée; on sait que ce Salon est constitué par des murs d'une très grande hauteur et qu'il est surmonté d'une coupole, située à 18 mètres au-dessus du sol de la salle.

Si, dans la journée, une certaine quantité de lumière peut parvenir

dans l'intérieur, grâce à toutes les précautions d'entretien qu'a pu prendre l'Administration du Louvre, il n'en est pas moins vrai que, par les jours sombres ou même dans l'après-midi, les œuvres qui y sont disposées ne sont pour ainsi dire presque pas visibles par le public.

Avec un éclairage approprié par rampes, projecteurs et filtres colorés, ces inconvénients ont disparu, et très heureusement on a pu ainsi faire ressortir d'une façon exceptionnelle les beautés artistiques des merveilleux tableaux des grands Maîtres de l'École italienne qui ornent ce Salon, tels que « l'Antiope » du Corrège, le « Jupiter foudroyant les Vices » de Véronèse, des tableaux de Guido Reni, du Titien, de Raphaël.

Il est à souhaiter que les États, soucieux de la renommée de leurs musées, fournissent l'effort financier nécessaire pour tirer, par un éclairage approprié, le meilleur parti artistique de leurs Salles de Collections, non encore réorganisées dans ce but.

SUR LA THÉORIE DE L'ACCUMULATEUR AU PLOMB

par M. TARRIN (1).

SOMMAIRE.

Réfutation de quelques arguments fondamentaux de la théorie de M. Ch. Féry.
Vérification de la théorie de la double sulfatation par l'analyse des matières actives et la pesée directe des plaques.

Partisans et adversaires de la théorie de M. FÉRY sont d'accord pour reconnaître que leur opinion n'est pas immuable et pour faire appel aux chercheurs susceptibles d'entreprendre des essais méthodiques dont la discussion pourrait éclaircir la question ; M. FÉRY, en particulier, lors de sa conférence à la Société de Chimie industrielle, en janvier 1927, a fait appel aux Chimistes dans ce sens.

Nous répondons à cet appel et présentons ici les résultats des recherches et analyses que nous avons effectuées.

Nous pouvons diviser notre exposé en quatre parties :

1° Rappel des bases de la théorie de M. FÉRY.

2° Quelques essais relatifs aux propriétés de la matière active positive.

3° Quelques essais relatifs aux propriétés de la matière active négative.

4° Pesées des plaques et analyses de matières actives ; précautions prises pour éviter l'altération de ces matières.

Rappelons que d'après la théorie de la double sulfatation, on peut représenter la réaction de décharge de l'accumulateur par l'équation chimique globale :

$$PbO^2 + 2SO^4H^2 + Pb = 2SO^4Pb + 2H^2O.$$

M. FÉRY combat cette théorie et oppose à l'équation ci-dessus l'équation toute différente :

(1) Communication présentée à la séance du 8 novembre 1930 de la 3e Section sous la présidence de M Ch. Marie.

$$Pb^2O^5 + SO^4H^2 + 2Pb = 2PbO^2 + SO^4Pb^2 + H^2O$$

Les bases sur lesquelles s'appuie cette hypothèse peuvent se ramener aux arguments essentiels suivants :

les propriétés comparées du bioxyde PbO^2 et de la matière active positive de l'accumulateur seraient bien différentes;

la couleur de la positive déchargée n'est pas celle du sulfate de plomb ; on devrait rencontrer une grande difficulté dans la peroxydation électrolytique de ce sulfate de plomb ;

la quantité de SO^4 fixé par les plaques à la décharge, serait la moitié de celle que prévoit la double sulfatation;

les variations de poids des électrodes seraient bien inférieures aux variations que prévoit la double sulfatation.

Abordons l'argument relatif aux propriétés de la matière positive : cette matière serait extrêmement instable et réductible lentement à l'air libre, rapidement et à froid dans l'hydrogène, avec dégagement de chaleur.

a) Nous avons étudié d'abord le degré de stabilité à l'air, en faisant varier la température : nous avons séché quelques plaques positives identiques chargées et lavées à l'eau, respectivement à 35, 80, 110, 150° C en prolongeant l'action de la température pendant 12 heures après obtention d'un poids constant.

b) Nous avons tenté également la réduction par l'hydrogène à froid de plaques positives chargées et lavées à l'eau, séchées ou non avant action de l'hydrogène.

c) Nous avons enfin, étudié le degré de stabilité de la matière positive dans l'électrolyte : deux plaques positives chargées étaient conservées pendant 30 jours dans l'acide pur à 28° B.

Après chacune de ces expériences portant toujours sur plusieurs plaques, nous avons dosé d'une part l'oxygène actif dans la matière active et mesuré d'autre part, la capacité d'une plaque montée entre négatives chargées. Nous avons trouvé dans tous les cas 98,5 à 99 pour cent de peroxyde et d'autre part même force électromotrice et sensiblement même capacité qu'avant le traitement : cette dernière ne s'écartait de la capacité initiale que de 2 pour cent au maximum.

Nous concluons donc que la matière active positive est *stable*, les propriétés attribuées à l'oxyde Pb^2O^5 : réaction exothermique en présence d'hydrogène ; instabilité à l'air et décomposition au-dessus de 35° C ne peuvent provenir que d'une cause accessoire, la présence d'impuretés mélangées au peroxyde par exemple.

Quant à la matière positive déchargée, la teinte foncée de cette matière et sa peroxydation facile par le courant s'expliquent simplement par le fait que la totalité de la matière n'intervient pas dans la décharge, de sorte que celle-ci aboutit à un mélange de peroxyde et de sulfate de plomb. Pour vérifier la possibilité de la peroxydation d'un tel mélange, nous avons empâté une plaque avec du minium, nous l'avons plongée dans un bassin d'acide sulfurique, ce qui donne la réaction :

$$Pb^3O^4 + 2SO^4H^2 \rightarrow 2SO^4Pb + PbO^2 + 2H^2O.$$

la plaque étant soumise à l'électrolyse, nous avons constaté que le courant peroxydait aisément une telle matière constituée incontestablement en grande partie de sulfate de plomb.

Matière active négative. Tout le monde est d'accord sur la matière négative chargée : c'est du plomb réduit ; pour la matière déchargée, d'après la double sulfatation, on a un mélange de sulfate SO^4Pb produit par la réaction de décharge et de plomb n'ayant pas participé à cette décharge ; d'après la théorie qui lui est opposée, la réaction de décharge donnerait du sulfate plombeux SO^4Pb^2.

Mais un argument péremptoire détruit la seconde hypothèse, argument qu'a déjà indiqué M. Jumau et que prouve l'expérience que nous décrirons plus loin : on peut obtenir avec des négatives de faible épaisseur, 2 à 3 mm et pour des décharges suffisamment lentes, en 15 ou 20 heures, par exemple, une capacité dépassant nettement la quantité d'électricité calculée d'après la transformation de tout le plomb réduit en sulfate plombeux ; l'hypothèse de la formation de sulfate plombeux comme réaction de décharge est donc à rejeter.

Nous avons procédé à quelques autres essais qui conduisent à la même conclusion ; d'après l'hypothèse de M. Féry, la décharge spontanée de l'accumulateur serait due à la réaction :

$$2Pb + SO^4H^2 + O = SO^4Pb^2 + H^2O \qquad (1)$$

et l'altération des plaques négatives déchargées appelée couramment « sulfatation » qui se produit généralement pendant un repos prolongé après décharge, à la réaction :

$$SO^4Pb^2 + SO^4H^2 + O = 2SO^4Pb + H^2O \qquad (2)$$

(1)-(2) Compte rendu de la Communication à l'Académie des Sciences, à la Séance du 24 novembre 1924.

l'oxygène provenant de l'air dissous et le peroxyde Pb^2O^5 très instable, se décomposant spontanément en $2PbO^2 + O$.

Dans des essais sur 2 éléments dont l'un était démonté pendant les périodes de repos et assujetti de façon à mettre la plaque négative à l'abri de l'oxygène, nous avons constaté que cette précaution ne diminuait en rien les défauts rappelés ci-dessus ; l'oxygène n'intervient donc pas et l'on doit rejeter les deux équations 1 et 2. La réaction dominante dans les phénomènes du circuit ouvert est simplement :

$$Pb + SO^4H^2 = SO^4Pb + 2H$$

réaction favorisée par l'état divisé du plomb réduit.

Pesées et analyses des matières actives.

Pour joindre à ces diverses observations des résultats d'un caractère plus précis encore, nous avons procédé à la mesure des poids de plaques et à l'analyse de leur matière active à fin de charge et à fin de décharge, après le traitement suivant stabilisant ces plaques dans leur état lors du prélèvement dans l'accumulateur.

Pour la positive, nous avons vu dans la première partie de cette étude que, bien lavée, la plaque pouvait être séchée à 100° C sans altération ; nous lavions donc à l'eau distillée puis, séchions à 100° jusqu'à poids constant.

Pour la négative, nous avons observé qu'après séchage dans le vide, le plomb réduit pouvait être conservé dans l'air sec sans altération ; nous lavions donc la négative à l'eau distillée, puis la séchions dans le vide.

Nous prenions la précaution de nous assurer sur un élément témoin que ce traitement n'altérait pas l'état des plaques.

Voici les résultats : l'élément comportait une positive de $18 \times 87 \times 2{,}4$ mm et une négative de $18 \times 88 \times 2{,}2$ mm ; la décharge à 55 milliampères a duré 19 h. 40 jusqu'à 1,75 V, soit 1,08 Ah.

1° *Pesée des plaques.* — Déduction faite des poids de quadrillage, nous avions :

Poids de mat. positive chargée : 8,520 ; déchargée : 9,750 g.

Poids de mat. négative chargée : 6,502 ; déchargée : 8,440 g.

D'après la double sulfatation, les poids de matière entrant en jeu sont :

— à la positive : $4{,}46 \times 1{,}08 = 4{,}817$ g de PbO^2, soit un coefficient d'utilisation 56,5 0/0 et un poids de matière déchargée 9,809 g.

— à la négative : $3,86 \times 1,08 = 4,168$ g de Pb, soit un coefficient d'utilisation 64 0/0 et un poids de matière déchargée 8,434 g.

Les poids mesurés pour la matière déchargée : 9,750 et 8,440 g sont très voisins de ces valeurs théoriques, ils s'en écartent de moins de 1 0/0.

D'après la théorie de M. Féry, les poids de matière devant entrer en jeu seraient :

$$9,21 \times 1,08 = 10 \text{ g de } Pb^2O^5,$$
$$7,72 \times 1,08 = 8,35 \text{ de Pb}.$$

Nous n'avions que 8,520 g et 6,502 g de matières, il n'a pu entrer en jeu 10 g et 8,35 g; ainsi indépendamment de tout résultat d'analyse, la seule comparaison des poids de matières actives avec les capacités obtenues, montre l'impossibilité d'envisager l'oxyde Pb^2O^5 à la positive et la formation d'un sel plombeux à la négative.

2° *Analyse des matières actives.*

Positive :	Chargée	Déchargée	
PbO^2	98 0/0	36 0/0	soit 3,51 g
PbO	2 (PbO + $PbSO^4$)	2,7 0/0	— 0,26
$PbSO^4$		61,2	— 5,97 correspondant à 4,710 PbO^2.
Négative :			
Pb	98,5 0/0	27 0/0	soit 2,279 g
PbO	1,5 (PbO + $PbSO^4$)	2,4	— 0,203
$PbSO^4$		70,5	— 5,950 correspondant à 4,06 Pb.

De même que le poids des matières après décharge, la teneur en sulfate de plomb de ces matières est très voisine de ce qui correspond à la théorie de la double sulfatation; on trouve sulfatés à la positive : $4,710 : 4,817 \times 97,8$ 0/0 ; à la négative :
$4,064 : 4,168 = 97,5$ 0/0 ; des poids ne devant théoriquement intervenir.

Notons que les causes d'erreur dans ces différentes mesures et analyses sont réduites au minimum : notre méthode de pesée directe des plaques que nous avons pu appliquer moyennant le traitement de stabilisation de la matière dont nous avons parlé est à la fois plus simple et plus exacte que la méthode de pesée au sein de l'électrolyte employée par différents auteurs et reprise par MM. Féry et Chéneveau en 1926 ; cette dernière comporte, en effet, des corrections dues aux poussées du liquide, corrections fort délicates du fait que le poids spécifique de

l'électrolyte d'une part, le volume des matières actives d'autre part, varient pendant la décharge.

Nous devons signaler que la théorie de M. Féry a reçu plusieurs correctifs successifs par son auteur; l'un d'eux en particulier admet la sulfatation de la positive, mais comme action secondaire; plusieurs personnalités ont montré que ces nouvelles hypothèses n'étaient pas admissibles et nous ne les envisagerons pas ici, nous en tenant uniquement à la discussion des bases fondamentales.

Conclusions :

En présence de ces différents résultats, il nous est permis de conclure de la façon suivante :

1° Aucune réaction chimique, aucune propriété particulière, ne permettent d'envisager l'existence d'un oxyde Pb^2O^5; les propriétés de la matière positive de l'accumulateur au plomb prouvent que l'on a affaire à l'oxyde PbO^2. Cette matière est en particulier stable à l'air, même à température élevée, 150° C par exemple, ainsi que dans les gaz réducteurs à froid.

2° L'application des lois de l'électrolyse dans les calculs relatifs à l'utilisation de la matière négative, montre l'impossibilité de la formation dans la réaction de décharge de sulfate plombeux.

3° La matière active des plaques positives ne se décompose au repos avec production d'oxygène que dans une mesure extrêmement faible ; cet oxygène et celui qui provient de la dissolution de l'air atmosphérique sont pratiquement sans action sur la matière active négative au sein de l'électrolyte, à circuit ouvert.

Enfin, parmi tant d'autres considérations, l'analyse des matières actives, la mesure des variations de poids des plaques, de la quantité d'acide utilisé par la décharge, comme le calcul des chaleurs de réaction nous conduisent à adopter la théorie de la double sulfatation de préférence à toute autre hypothèse.

DISCUSSION

M. Jumau se déclare d'accord avec M. Tarrin quant à ses conclusions, et il ajoute :

« J'ai résumé tous les différents points de cette discussion dans une conférence que j'ai faite en juin dernier à la Société belge des Électri-

ciens et que je mettrai avec plaisir à la disposition des personnes qui m'en feront la demande, dès que le tirage à part en sera paru.

Je signalerai d'autre part qu'il n'existe, à ma connaissance qu'un expérimentateur qui se rallie à la théorie de M. Ch. Féry ; c'est M. A. Rollet. Mais il faut bien dire que s'il admet l'existence de Pb^2O^5 comme matière active positive chargée et de Pb^2SO^4 comme matière négative déchargée, il ne démontre pas expérimentalement l'existence de ces corps. Sa démonstration est une interprétation erronée de faits d'expériences, car il commet la même erreur que M. Ch. Féry d'admettre *à priori* que le coefficient d'utilisation de la matière active est égal à l'unité. Je n'insisterai pas davantage sur les expériences de M. A. Rollet que j'ai discutées l'année dernière à la semaine de discussions d'octobre (1).

Pour terminer, je dirai que s'il me paraît bien démontré que la matière active positive est le peroxyde de plomb PbO^2, j'admets très volontiers, comme je l'ai déjà dit, qu'il puisse se former, du moins, dans certaines conditions de charge, de très petites quantités d'un superoxyde de plomb instable de composition encore inconnue et qui ne pourrait jouer quelque rôle que pendant la période très courte du coup de fouet de la décharge, tout comme l'acide persulfurique. C'est d'ailleurs un phénomène semblable que l'on rencontre dans l'accumulateur fer nickel où la matière positive chargée renferme souvent à côté de Ni^2O^3 de très petites quantités de NiO^2 ».

M. Ch. Féry discute les objections de M. Tarrin et insiste à nouveau sur la confirmation de sa théorie apportée par les travaux de M. Rollet (Thèse de M. Rollet, soutenue devant la Faculté de Strasbourg).

M. Féry expose les résultats pratiques obtenus industriellement avec des accumulateurs construits conformément à sa théorie et conclut :

« Lorsqu'en 1915 je me mis à étudier le problème de l'accumulateur insulfatable, immobilisé si possible, pour les besoins de la défense nationale, je m'aperçus rapidement que la théorie de Gladstone, dite de la double sulfatation, ne me donnait aucune directive pour le but que je poursuivais.

C'est à ce moment que j'entrepris les recherches qui m'ont conduit à la réaction réversible qui a soulevé tant de critiques.

Cette théorie a eu toutefois le mérite de me guider dans la réalisa-

(1) Revue générale de l'Électricité, 7 décembre 1929, t. XXVI, p. 917-925.

tion pratique de l'élément qui a fourni les résultats que je viens d'exposer ; c'est là, il me semble le principal ».

M. Dufour demande pourquoi des essais directs de pouvoir réducteur de la plaque négative n'ont pas été faits. M. Ch. Marie propose à M. Dufour, qui accepte, de faire ces essais.

NOTE SUR LA TENSION NON DANGEREUSE DES COURANTS ÉLECTRIQUES (1)

par M. FERAUD

Administrateur-Délégué du Nord-Est Parisien

Sommaire : I. *Exposé*. — II. *Définition qualitative de la Tension non dangereuse*. — III. *Influence des caractéristiques de la source sur le danger des courants électriques*. — IV. *Influence des circonstances étrangères à la source sur le danger des courants électriques*. — V. *Intensité dangereuse*. VI. *Définition quantitative de la tension non dangereuse*. — VII. *Conclusions*.

I. — *Exposé*. — La question du danger des courants alternatifs est une question toujours à l'ordre du jour depuis qu'il y a des électriciens et qu'ils distribuent de l'énergie.

Elle est devenue brûlante, si nous osons dire, à la suite d'accidents retentissants qui ont ému les populations jusque dans les campagnes les plus reculées. Il est donc nécessaire plus que jamais que nous nous en préoccupions, tant dans un intérêt préventif que pour éviter la propagation d'idées erronées qui tendraient à faire ranger notre industrie dans la catégorie des industries dangereuses.

Nous n'entrerons pas dans la discussion du mécanisme de la mort par électrocution. Nous nous contenterons de constater le danger, d'étudier les circonstances soit intrinsèques à la source, soit propres à la victime, qui peuvent avoir une influence sur lui. Nous chercherons s'il existe une tension qui nous mette pratiquement à l'abri de tout danger et, le cas échéant, nous essaierons d'en déterminer la limite. Chemin faisant, nous ferons simplement allusion aux théories qui tâchent d'expliquer le mécanisme de l'action des courants sur l'organisme.

Cette étude est déjà suffisamment complexe. Chacun de ses aspects a été l'objet de recherches de la part de nombreux savants, médecins, électriciens, mais comme chacun de ces chercheurs n'a soulevé qu'un coin du voile et que le nombre des facteurs qui réagissent, les uns sur les autres est multiple, le rapprochement des diverses expériences donne des résultats parfois contradictoires. Cette situation nous invite à la

(1) Communication présentée à la séance du 24 février 1930 de la 4e section.

prudence et nous empêchera de vous donner des conclusions formelles. Notre exposé analytique en sera forcément un peu confus, mais s'il n'apporte pas en ce débat de lumière décisive, il montrera tout au moins l'état de la question et l'utilité de procéder à des expériences que désormais on peut espérer complètes, pour établir, en ces matières, les bases d'une doctrine définitive.

L'habitude a été prise de considérer la tension comme la mesure ou tout au moins l'indice du danger d'où les dénominations, en général vagues et sans précision, de « tension dangereuse », et de « tension non dangereuse ».

Nous dirons plus loin ce qu'il faut penser de cette pratique que les pouvoirs publics ont en quelque sorte contribué à consacrer par leur classification des courants suivant leur tension en courants de 1er, 2e et 3e catégorie. Le public, dont l'attention, en vertu des règlements administratifs, était attirée par une publicité envahissante sur le danger des courants de 2e et 3e catégorie, en a conclu que les « autres », c'est-à-dire les courants de 1re catégorie étaient inoffensifs. Il considère donc que la tension non dangereuse est celle des courants de 1er catégorie, c'est-à-dire de ceux employés dans les installations intérieures et qui se trouvent à portée de la main de tous les usagers. Cette opinion est malheureusement erronée, comme le prouve la trop longue liste des accidents mortels survenus à des tensions inférieures à la tension limite des courants de 1re catégorie.

Ces accidents provoquent dans l'entourage des victimes des remous d'autant plus violents qu'ils apparaissent comme la révélation d'un fait anormal et considéré jusque-là comme impossible. C'est une raison de plus de s'efforcer, en particulier, de parfaire, en cette matière, l'éducation de « l'homme de la rue » et d'essayer de définir, dans l'intérêt commun, ce que, en connaissance de cause, nous pourrions appeler la « tension non dangereuse ».

II. — *Définition qualitative de la « tension non dangereuse »*

Nous croyons qu'il faut éviter de définir la tension non dangereuse comme celle qui, dans aucune circonstance, ne peut entraîner la mort. En effet, cette définition aurait pour résultat, dans les cas limites, qui sont l'exception et que, pour cette raison, il faut considérer séparément, d'abaisser inutilement la frontière de la tension non dangereuse. Il en résulterait une inquiétude injustifiée de l'opinion et des précautions

dans les installations intérieures qui, en général, dépasseraient leur objet.

C'est ainsi qu'il nous paraîtrait logique d'éliminer d'une définition d'ordre général, le cas des salles de bains. En effet, une personne dans son bain se trouve dans des conditions telles que la résistance de tout son corps est réduite au minimum. En vue de la protection de cette personne, il y a lieu de prendre des mesures tout à fait spéciales qui font l'objet, dans tous les règlements d'installations intérieures, de prescriptions particulièrement rigoureuses.

Dans ces conditions, nous proposons de définir la tension non dangereuse comme celle qui ne peut entraîner la mort en aucune circonstance de la vie domestique et industrielle courante, c'est-à-dire en dehors des cas des salles de bains ou de cas équivalents.

III. — *Influence des caractéristiques de la source sur le danger des courants électriques.*

Nature du courant (continu ou alternatif). — Dès 1884, d'Arsonval (1) a reconnu que la variation du courant traversant le corps d'un être vivant jouait un rôle important dans les troubles physiologiques causés par le passage du courant. Il en a conclu, en particulier, que le courant alternatif était, toutes choses égales d'ailleurs, plus dangereux que le courant continu.

D'après Prévost et Batelli (2), l'action perturbatrice des courants se fait sentir particulièrement sur le cœur, surtout si la tension ne dépasse pas 120 volts. Le mécanisme de la mort est semblable, dans le cas du courant alternatif et du courant continu, avec toutefois les différences suivantes :

Pour provoquer chez un chien les trémulations fibrillaires des ventricules du cœur avec un courant continu il faut au moins une tension de 50 à 70 volts, tandis qu'une tension de 10 volts suffit avec le courant alternatif. Mais tandis qu'avec le courant alternatif, la durée du contact doit être au minimum d'une seconde, avec le courant continu, une seule secousse de 1/10 de seconde suffit pour obtenir ce résultat.

Chez tous les animaux soumis aux expériences, la sensibilité paraît plus fortement atteinte par le courant continu que par le courant alternatif.

---

(1) Bulletin de la Société de Biologie 27 décembre 1884.
(2) Compte rendu de l'Académie des Sciences, 26 décembre 1899, tome CXXXVIII, page 842.

Pour le Dr Jellinek, un contact prolongé paraît plus dangereux dans le cas du courant continu que dans celui du courant alternatif et, d'une façon générale, le courant continu serait plus dangereux que le courant alternatif.

Le Dr Weiss (1) admet que toutes choses égales d'ailleurs, l'effet d'un courant alternatif correspond à l'effet d'un courant continu quatre fois plus intense.

Le courant continu cependant, surtout si la durée de son action est un peu prolongée, apporte dans l'organisme des troubles profonds qui ont probablement une origine électrolytique.

D'après Bouveuke, Ingénieur des Arts et Manufactures, sous-Directeur de l'Association normande pour la prévention des accidents, l'effet d'électrolyse est certain. Il se manifeste avec du courant continu ou du courant alternatif à très basse fréquence. *Il est pratiquement négligeable sous 50 périodes.* Il se caractérise par une production de chlore sous une électrode et de soude sous l'autre électrode. Les quantités produites dépendent du nombre d'ampères-heures qui ont traversé le patient Les effets destructeurs d'ordre chimique sont fonction de la concentration et par conséquent de la densité de courant sous les électrodes.

Le courant continu ne donnerait qu'un choc au contact et un choc à la rupture et serait sans influence appréciable sur les mouvements respiratoires. Le courant continu serait donc dangereux à partir du moment où le choc de tête ou le choc final pourront être suffisants pour provoquer une syncope, c'est-à-dire pour une intensité de 60 à 100 mmA.

Le courant alternatif qui provoque, au contraire, une crispation, deviendra dangereux dès qu'il aura une valeur suffisante pour enrayer les mouvements respiratoires, c'est-à-dire pour une intensité d'environ 30 mmA et comme les muscles du poignet sont contractés par une intensité de 12 mmA il s'ensuit qu'on ne peut se débarrasser soi-même et que le patient risque de périr asphyxié. Voilà pourquoi le courant alternatif à basse tension est considéré comme plus dangereux que le courant continu. Il y a encore une raison de la considérer comme plus dangereux, c'est que la peau est meilleure conductrice sur le courant alternatif que sur le courant continu.

Doppler, Ingénieur en Chef du Service électrotechnique de l'inspection du travail néerlandaise, écrit dans son rapport à la Conférence Internationale des grands réseaux de 1925, intitulé : quelques notes sur les statistiques d'accidents par l'électricité et les dangers du courant

(1) Bulletin de la Société Internationale des Electriciens du 7 juin 1911.

électrique : « Pour le courant continu, une intensité de 5 à 6 fois plus grande est nécessaire pour atteindre le même résultat qu'avec du courant alternatif ».

KAMMERER, Ingénieur en Chef de l'Association Alsacienne des propriétaires d'appareils à vapeur, écrit :

« De nombreuses expériences ont montré que le courant alternatif « était plus dangereux que le courant continu et que la résistance « opposée par le corps au passage du courant était plus faible en alter- « natif qu'en continu ».

Bulletin de l'Association des Electriciens Suisses A. E. S. du 7 juillet 1929. — On lit dans ce bulletin, sous la rubrique « Contribution à « l'étude des effets physiologiques du courant électrique sur le corps « humain », au § 5 Essais effectués en courant continu : « Les sensa- « tions propres à l'électrisation en courant continu diffèrent sensible- « ment des précédentes (essais en courant alternatif). Au moment de « la prise et du lâchage des électrodes, on perçoit un choc. »

« L'effet global de l'électrisation se concentre ensuite sur les surfaces « en contact. La personne d'essai éprouve une sensation d'échauffement « local. L'électrisation par courant continu n'est supportable que pen- « dant une durée très courte, car l'impression ressentie est vraiment « désagréable. »

Dans les conditions très particulières où était faite l'expérience, une intensité de 10 à 12 mA pouvait être considérée comme la limite supportable, tandis que dans les mêmes conditions et dans le cas du courant alternatif, l'intensité supportable était de l'ordre de 20 à 25 mA.

En somme, la lumière n'est pas faite encore sur le danger comparé des courants alternatifs et des courants continus. Tout ce que l'on peut dire probablement, c'est qu'au point de vue du danger de mort proprement dit, les courants alternatifs pour une même intensité et une même tension paraissent plus dangereux que les courants continus, tandis que les effets permanents des courants continus sont probablement plus pernicieux que ceux des courants alternatifs.

Il n'est peut-être pas inutile d'ajouter que les expériences précédentes ont été faites sur la basse tension, et que, dans le cas de courants alternatifs de haute tension, la capacité introduit dans les circuits des effets aggravants qui n'existent pas dans le cas de courants continus.

Tension. — Nous avons vu qu'on a généralement tendance à considérer la tension comme le facteur principal du danger.

Cette pratique n'est justifiée qu'en partie, car, s'il faut, en effet, une certaine tension pour que le courant soit dangereux, l'innocuité des étincelles statiques sous de très hautes tensions, lorsque la quantité d'énergie est faible, est une preuve que la tension n'est pas le seul facteur du danger. Le Dr JEX BLAKE admettrait même, d'après un article du *British Medical* journal de mars 1913, *qu'à partir d'une certaine limite, le danger pour la vie diminue avec l'augmentation de la tension.* Cette constatation s'accorderait avec les statistiques d'accidents néerlandaises, qui montrent que dans le cas de contacts avec la haute tension, beaucoup d'accidents ne sont pas mortels.

Ce point de vue est également confirmé par les expériences de PRÉVOST et BATELLI. (1)

Cependant pour une même résistance totale, le courant qui parcourt le corps d'une personne est proportionnel à la tension. De même, d'après M. OGLE (2), *la tension aurait pour effet de diminuer la valeur des résistances de contact et* M. BOUYEURE *(déjà cité) écrit que dès que la tension dépasse 600 volts, la peau est immédiatement « claquée »* et ne joue plus son rôle protecteur. Par conséquent, si la tension n'a pas toujours un rôle prépondérant, elle n'en est pas moins, dans certaines circonstances, un facteur important du danger.

Intensité. — En réalité, le danger du courant, s'il est fonction de la tension appliquée, dépend surtout de la valeur de l'intensité qui traverse la victime. Nous reviendrons plus loin sur ce sujet, quand nous aurons examiné certaines contingences susceptibles de favoriser l'étude de la question.

Puissance. — Devant la complexité des phénomènes, certains auteurs se sont demandé si la gravité de l'accident n'était pas une fonction mécanique de la puissance du courant.

Cette conception n'est pas à rejeter *à priori*, car on ne peut se dispenser d'admettre que le travail électrique est consommé sous forme mécanique ou calorifique dans l'intimité des tissus (3).

Arrêtons-nous un instant sur cette conception et voyons d'abord les effets mécaniques.

D'après BOUYEURE, déjà cité, pour impressionner les nerfs, il faut non seulement que le courant soit établi brusquement et qu'il ait une

(1) Compte rendu de l'Académie des Sciences, t. CXXVIII, p. 668, 23 octobre 1899.
(2) *Electrical World*, 5 août 1922, p. 273
(3) Dr A. ZIMMERN, Les accidents de l'électricité industrielle et domestique.

certaine valeur, mais encore qu'il soit maintenu un temps suffisant pour que les micelles qui constituent les nerfs et qui ont une certaine inertie se mettent en équilibre. On en conclut que le courant alternatif causera une crispation permanente puisqu'il constitue une variation permanente du champ électrique.

D'autre part, la sensation de fourmillement résultant d'un contact avec un conducteur électrique est due au fait que le sérum dans lequel les micelles se trouvent en suspension est soumis à l'électrolyse et que les ions produits viennent en se déplaçant choquer les micelles en suspension. Chacune de ces rencontres est donc enregistrée comme un choc mécanique, capable de provoquer la mort si la puissance du courant est suffisamment élevée.

Examinons maintenant les effets calorifiques. Ils sont fonction de la loi de Joule, c'est-à-dire proportionnels à rI^2 et par conséquent proportionnels à la densité du courant. Pour qu'ils produisent des destructions totales il faut, d'après Bouveure, qu'il y ait coagulation du sang et pour cela, il faut des densités de courant de l'ordre de l'ampere par centimètre carré. La coagulation provoque la formation de caillots de sang, lesquels sont susceptibles d'entraîner une embolie. Pour en arriver-là, il faut une tension de l'ordre de quelques centaines de volts qui en claquant la peau, ne laisse pour l'évolution du phénomène que la résistance intérieure de la victime. Ces conditions montrent que l'effet calorifique est bien postérieur dans l'ordre des phénomènes à celui des effets nerveux, mais il peut agir à retardement. Si une densité anormale se crée au voisinage d'un nerf commandant une fonction importante, ce nerf peut être supprimé et la victime, ramenée à la vie, peut mourir ultérieurement par suite de la suppression d'une fonction vitale.

En fait, dit le Dr Zimmern, cette théorie ne saurait expliquer comment les courants de haute tension et, de tres faible intensité peuvent ne produire qu'une syncope passagère alors que des courants de basse tension, d'énergie égale sont fatalement mortels (1).

Nous croyons que la raison de cette différence réside dans l'influence prépondérante de l'intensité.

D'autre part, il ne faut pas oublier que si une dérivation de quelques milliers d'ohms ne peut provoquer aucune chute de tension sur une distribution à B. T., elle peut, sur un circuit à haute tension, provoquer un véritable court-circuit, amener une importante chute de ten-

(1)- Dr A. Zimmern, Les accidents de l'électricité industrielle et domestique.

sion en ligne et momentanément une élévation considérable de l'intensité.

Fréquence. — D'ARSONVAL a étudié l'influence de la fréquence des courants alternatifs sur le danger des courants électriques. Il a rendu compte de ses expériences dans un mémoire intitulé : Influence de la fréquence sur les effets physiologiques des courants alternatifs (C. R. de l'Académie des Sciences, 20 mars 1893, t. CXVIII, p. 1139). Ses conclusions sont les suivantes :

Si l'on augmente graduellement la fréquence, les phénomènes d'excitation neuromusculaire vont en augmentant jusqu'à 2 500 ou 3 000 excitations par seconde; ils restent stationnaires entre 3 000 et 5 000 et vont ensuite en décroissant jusqu'à 10 000, de sorte qu'un courant de 1 500 périodes est plus douloureux qu'un courant de 5 000 périodes.

Pour les fréquences très élevées des ondes hertziennes, les nerfs sont insensibles. L'influence de ces courants est même salutaire à l'organisme et toute une thérapeutique, la d'arsonvalisation, a été créée sur cette constatation.

Le danger va donc en augmentant avec la fréquence, puis diminue avec elle.

Le Dr WEISS, dans les expériences que nous avons déjà relatées, a trouvé que « toutes autres conclusions restant égales », la fréquence entre les limites de 12 à 75 p : s, ne joue aucun rôle dans le danger résultant d'un contact avec un courant électrique.

D'après la théorie de BOUYEURE, la sensibilité d'un nerf, en raison de son inertie, diminue avec la fréquence du courant qui l'excite, et au bout d'un certain temps, le nerf ne peut plus suivre les variations de la fréquence.

Toujours d'après le même auteur, lorsqu'on a affaire à un courant alternatif, le trajet moyen d'un corpuscule électrisé diminue lorsque la fréquence augmente. Lorsque pour un courant donné, la fréquence est assez élevée pour que le trajet moyen d'un ion ou d'un électron soit plus petit que la distance entre deux micelles, il ne peut y avoir de choc et par conséquent de sensation.

On voit donc que la sensibilité à la variation de champ et la sensibilité au bombardement micellaire diminuent toutes deux, lorsque la fréquence du courant augmente.

Par ailleurs, on sait que le courant se répartit inégalement dans la section d'un conducteur; il tend à gagner la partie périphérique de

ce conducteur, d'autant plus que la fréquence est plus élevée et le conducteur plus gros. Par conséquent, dans le cas du corps humain, la fréquence a pour conséquence : d'augmenter la résistance apparente du corps par diminution de section utile, de protéger les organes intérieurs, tels que le cœur, qui se trouve au centre du corps.

Mais nous savons aussi que la résistance de la peau diminue avec la fréquence.

Il est donc difficile en dernière analyse, de déterminer l'influence de la fréquence sur le danger des courants électriques. Il semble toutefois admis d'une façon générale, que la fréquence la plus dangereuse soit celle des courants industriels.

IV. — *Influence des circonstances étrangères à la source sur le danger des courants électriques.* — Le danger des courants ne dépend pas seulement des caractéristiques de la source d'énergie, mais encore d'un certain nombre de facteurs extérieurs qu'on peut énumérer comme suit :

— la durée du contact, qui a pour effet, en se prolongeant, de diminuer les résistances de contact.

— la nature du contact qui dépend de la surface et de la qualité des contacts ;

— la résistance de l'épiderme, variable avec les diverses parties du corps ;

— la résistance du corps entre les deux contacts ;

— le trajet du courant à travers le corps ;

— l'état physique et psychique du sujet.

Résistance du corps humain (1). — La résistance du corps humain, en première approximation, se compose de trois résistances en série.

La résistance de l'épiderme ou plus exactement de sa couche cornée aux contacts d'entrée et de sortie du courant et la résistance intérieure du corps. La résistance de l'épiderme, très grande en général par rapport à la résistance du corps, permet de définir presque à elle seule, dans le cas de la basse tension, l'intensité du courant qui traversera la victime.

La résistance de l'épiderme R dépend de trois facteurs : ρ la résistivité, e l'épaisseur, S la surface de la peau traversée par le courant ou surface de contact, entre lesquels on a la relation

(1) Bulletin de l'A.E.S. du 7 juillet 1929.

$$R = \rho \frac{e}{S}$$

ρ et e sont variables avec les personnes et même variables pour une même personne d'un endroit à l'autre du corps (1).

Le facteur qui influe le plus sur la résistivité de l'épiderme est l'humidité.

L'humidité de la peau et, par suite la conductivité du corps, peut dépendre de phénomènes externes, c'est-à-dire physiques, tels que le degré hygrométrique de l'air, la température, le mouillage au contact de l'eau ou d'autres liquides dont la conductibilité propre joue de plus un rôle important.

L'humidité de la peau dépend en outre de facteurs internes tels que la transpiration. La transpiration se produit, soit lors de travaux manuels, soit lorsque le corps est exposé à des températures élevées, particulièrement lorsque le degré hygrométrique de l'air est faible, soit encore sous l'effet de la peur ou de l'inquiétude.

D'après le Dr JELLINEK (2) la résistance totale du corps humain atteint 40 000 Ω et même 100 000 Ω et plus entre les paumes des deux mains d'un ouvrier, tandis que, dans les mêmes conditions, entre les mains d'un homme de bureau ou d'une femme, elle n'atteint que 5 000 Ω et même moins. Entre les lèvres et le rectum, la résistance est comprise entre 800 et 1 000 Ω. Si l'on fait abstraction des résistances de contact de la peau, la résistance propre du corps humain paraît être voisine de 1 000 Ω ou un peu inférieure.

SCHIESSER (3) *Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens*, juillet et août 1923, t. XIV, p. 370 et 409), a obtenu les résultats suivants :

De main à main de 4 000 à 6 000 Ω suivant l'état de la peau.

Entre les deux mains et les deux pieds (peau humide) 1 800 Ω ; de pied à pied (peau sèche) 2 300 Ω.

NIXDORF (E.T.Z. 1918, t. XXXIX, p. 139) a trouvé pour la résistance

---

(1) Dans le cas d'une surface de contact extrêmement petite R devient infini. Il ne faudrait pas conclure que les contacts avec les conducteurs électriques seraient alors sans danger. On peut être tué par une étincelle électrique dont la surface de contact avec les téguments peut être considérée comme négligeable. Il est probable que la densité de courant très élevée aux points de contact entraîne des modifications de l'épiderme qui font varier la conductivité du corps.

Cette formule élémentaire ne s'applique pas non plus dans le cas des systèmes à haute tension non reliés à la terre où intervient la capacité électro-statique du réseau

(2) Cité par DE NERVILLE et HARDY, Protection contre les effets nuisibles de l'Electricité.

(3) Cité par DE NERVILLE et HARDY, Protection contre les effets nuisibles de l'Electricité.

du corps humain, des chiffres beaucoup plus faibles, mais comme ces chiffres ne concordent pas avec ceux de la plupart des expérimentateurs, nous ne les retiendrons pas.

La gravité des effets du courant dépend beaucoup du chemin parcouru par le courant dans le corps. Si la plus grande partie du courant, au lieu de traverser le corps est dérivée par la surface, les conséquences de l'accident sont moins graves. Le fait est constaté quand la peau est mouillée, soit à la suite d'un bain, soit par la transpiration. Il se produit surtout quand les points d'application du courant ne sont pas très éloignés l'un de l'autre.

Le Dr Weiss a montré que, dans les mêmes conditions d'intensité et de tension, les mêmes animaux qui résistent parfaitement lorsque le courant leur est appliqué par l'intermédiaire d'électrodes fixées au sommet du crâne et sous le menton, succombent lorsque les électrodes sont réunies aux pattes postérieures et antérieures, de manière à placer le cœur dans le circuit.

Un autre facteur important du danger est l'état psychique de la victime. La surprise augmente le danger. Quand le cerveau est engourdi par le sommeil, les effets sont moins graves. Il en est de même en cas d'ivresse.

On a dit que la peur diminuait l'aptitude du système nerveux à réagir contre le choc. La vérité est peut-être que certains accidents mortels attribués à l'électricité, peuvent n'avoir été que des morts subites, simplement occasionnées par la peur. Jellinek cite le cas d'un ouvrier qui plusieurs fois déjà étant entré en contact malencontreusement avec des conducteurs électriques, touche un jour un câble où ne passait pas de courant et s'affaisse subitement.

V. — *Intensité dangereuse.* — Nous avons vu, d'après ce qui précède, que le facteur principal du danger des courants est l'intensité du courant qui traverse la victime. Un chien supporte sans trop d'inconvénient un courant de 45 mA sous une tension de 4.500 volts, tandis que, pour des intensités plus élevées, la mort est déterminée par des courants à basse tension 100 volts, 103 volts, 380 volts.

Nous avons énuméré les principales causes qui sont susceptibles de faire varier cette intensité.

Nous allons maintenant essayer de définir l'intensité dangereuse, c'est-à-dire celle susceptible de provoquer la mort.

(1) Cité par le Dr A. Zimmern.

D'après les expériences faites par le Dr Weiss sur de grands chiens, un courant de 70 à 90 mA expose l'animal à la mort. Le Dr Weiss estime que ces conclusions s'appliquent à l'homme et il donne 100 mA comme limite de l'intensité dangereuse.

Boruttan (S.T Z, 1918, t. XXXIX, p. 396) donne les chiffres suivants :

Si le courant passe de la tête aux pieds ou inversement :

Maximum admissible	20 mA
Intensité dangereuse	50 mA
Intensité sûrement mortelle	100 mA

Jex Blake admet que l'intensité du courant de 100 mA à 1 000 mA suivant la tension, forme la zone dangereuse pour la vie.

Kammerer donne 25 mA comme limite de l'intensité dangereuse et Bouveure 30 mA environ.

Il semble que nous puissions adopter 50 mA comme limite de l'intensité dangereuse.

En réalité, la notion d'intensité est encore insuffisante pour donner la mesure du danger. Il faut la compléter, comme nous l'avons vu, par celle de densité du courant, c'est-à-dire d'intensité par unité de surface qui est la seule qui agisse véritablement sur le nerf impressionné puisque l'effet calorifique rI^2 est en réalité proportionnel au carré de la densité du courant.

Les fortes densités de courant provoquent une élévation considérable de température et, comme conséquence, une diminution de la résistance, facteurs qui interviennent directement pour augmenter le danger des courants.

VI. — *Définition quantitative de la tension non dangereuse.* — Partant de la notion d'intensité dangereuse et compte tenu de la résistance du corps humain, nous pouvons maintenant définir la limite inférieure de la tension dangereuse.

Nous avons vu que, dans les circonstances les plus défavorables, la résistance du corps humain était d'environ 800 Ω. En admettant une intensité dangereuse de 50 mA, la tension dangereuse serait, dans ce cas extrême de 40 volts.

Nous n'avons pas trouvé d'exemple d'accidents mortels survenus à cette tension.

Le Dr Jellinek cite le cas d'une personne électrocutée à 65 volts [1]. M. Ogle affirme que, si la peau au contraire est suffisamment enlevée

[1] De Nerville et Hardy, Protection contre les effets nuisibles de l'électricité.

pour que le contact électrique se fasse directement avec les muscles et le sang, une tension de 50 V [1] devient mortelle.

Il semble donc qu'en pratique et en exceptant le cas des salles de bains et de quelques cas analogues, nous puissions, sans nous départir des règles de la prudence, ni faire preuve d'un formalisme exagéré, admettre la tension efficace de 30 volts comme limite supérieure de la tension non dangereuse.

Les pays étrangers nous fournissent d'ailleurs à ce sujet un enseignement.

Les Pays-Bas avaient adopté la tension de 50 volts, mais cette tension est actuellement en révision.

En Allemagne, on mentionne que la limite de la tension dangereuse semble comprise entre 24 et 40 volts.

En Tchécoslovaquie, on considère comme installations à courant faible celles dont la tension est inférieure à 50 V, mais pour certaines applications, on limite cette tension à 20 volts au plus.

En Suisse, on considère la tension de 36 V comme non dangereuse et en Belgique on prescrit la tension de 35 V en courant alternatif pour la révision des chaudières.

VII. *Conclusions.* — Il était nécessaire de signaler une fois de plus le danger des courants alternatifs de 1re catégorie.

Dans ce domaine, on ne peut pas faire d'expériences directes sur l'homme et les expériences faites sur les animaux, malgré leur valeur documentaire très importante, ne peuvent s'appliquer à l'homme qu'avec des réserves. On ne peut donc tirer un enseignement précis touchant la sécurité des personnes que de la statistique des accidents survenus à ces dernières. Si malheureusement la liste est longue des accidents mortels survenus à des tensions de 115 V, on trouve très peu de relations sur des accidents survenus à des tensions inférieures, surtout parce que ces tensions sont peu répandues dans le domaine public. Cependant la théorie, corroborée par quelques rares faits connus, montre que des tensions inférieures à 115 V peuvent être dangereuses et qu'il faut probablement descendre jusqu'à une douzaine de volts pour trouver une tension qui, *en aucune circonstance*, ne soit susceptible de vous faire passer de vie à trépas.

Toutefois, les tensions de cet ordre n'étant mortelles que dans des cas tout à fait exceptionnels, il était donc utile d'essayer de définir en pratique la « tension non dangereuse » c'est-à-dire celle qui, dans

---

[1] De Nerville et Hardy, p. 39.

les circonstances de la vie courante, ne peut pas occasionner la mort.

Nous avons vu que cette notion de tension dangereuse était insuffisante pour définir le danger des courants et que ce danger dépendait de nombreux facteurs qui réagissaient d'une façon complexe les uns sur les autres. Tout ce qu'on peut probablement retenir de notre note, c'est que le danger des courants dépend surtout de l'intensité de courant par unité de surface qui parcourt le corps de la victime et du trajet du courant à travers le corps et que la notion de tension dangereuse doit être déduite de celle de l'intensité dangereuse.

Si nous tentons maintenant de synthétiser les effets physiologiques dus au passage du courant, voici ce que nous constatons. Jusqu'à 1 mA la sensation est nulle, puis surviennent les fourmillements, la raideur du membre, suivie d'un commencement de crampe qui s'accentue. Vers 15 mA, la crispation se fait sentir et le patient est accroché, le contact avec la source devient de plus en plus intime, les résistances du contact diminuent, l'échauffement augmente ; entre 30 mA et 50 mA les voies respiratoires sont atteintes, l'asphyxie se dessine; c'est la mort apparente ; entre 60 et 100 mA le cœur est atteint, c'est la syncope; aux environs de 1000 mA la coagulation du sang se prononce, les caillots se forment, c'est l'embolie. La mort définive s'ensuit puis la crémation. La succession ou la superposition de ces phénomènes peut ne durer que quelques secondes.

Il resterait à déterminer les cas dans lesquels cette tension non dangereuse devrait être employée, mais ceci, comme dirait KIPLING, est une autre... affaire et fera l'objet d'études ultérieures.

Qu'il nous soit permis en terminant de formuler des vœux pour combler les lacunes que nous avons constatées.

Il serait souhaitable qu'il soit tenu, dans la mesure du possible, une statistique détaillée des accidents survenus à des tensions inférieures à 115 volts.

Il serait désirable que les expériences sur des animaux, effectuées par des médecins à des tensions de 115 volts, soient reprises à des tensions efficaces de 30 à 50 volts et qu'elles soient complétées dans la zone non dangereuse par des expériences sur l'homme.

Ces statistiques et ces expériences, en nous donnant un point d'appui, solide, nous permettraient, le cas échéant, de réviser définitivement la limite de la « tension non dangereuse » que nous avons préconisée, de fixer les lois de variation du danger en fonction des facteurs dont nous avons signalé l'influence et peut être de déterminer de nouvelles mesures de protection et de sauvetage.

DISCUSSION

M. Fourcault confirme que c'est l'intensité du courant traversant le corps qui provoque la mort, la tension appliquée n'est donc pas le seul facteur à considérer. Il cite en exemple les dispositions adoptées aux Etats-Unis pour l'électrocution des condamnés à mort ; la tension de 3000 V prévue primitivement et dont les résultats étaient incertains, a été remplacée par une tension de 600 V, mais une attention particulière a été apportée à la constitution et à la disposition des électrodes.

Il est bien d'accord sur le fait que les conséquences d'un contact avec les conducteurs sous tension sont très variables suivant les individus.

Il indique enfin, à propos des cas de mort subite signalés par M. Féraud et vraisemblablement causés par la frayeur, que l'autopsie des victimes aurait pu mettre en évidence d'une façon très nette, que la mort n'avait pas été causée par l'électrocution.

M. Iliovici rappelle que la question avait déjà été étudiée de façon systématique au Laboratoire Central d'Electricité par une Commission que présida M. le Dr Weiss. Alors que M. d'Arsonval signalait qu'une intensité très inférieure à 1/10 A pouvait causer des accidents graves sur l'homme, des expériences effectuées sur des chiens mirent en évidence que, pour des courants beaucoup plus importants, de l'ordre de 1 A, des brûlures et des carbonisations locales se produisaient sans entraîner nécessairement la mort.

M. Daguerre fait remarquer que la sensibilité des animaux est très différente de celle de l'homme.

M. Fallou fait part d'un phénomène curieux, mis en évidence il y a une dizaine d'années au cours d'expériences effectuées à la Faculté de Médecine.

On imposait à un animal une tension continue de l'ordre de 10 V ; cette tension étant interrompue périodiquement 100 fois par seconde, et la durée de l'interruption étant égale à la durée de l'application.

L'animal tombait au bout de peu de temps dans un sommeil présentant toutes les apparences du sommeil cataleptique et se réveillait dès la suppression du courant. L'expérience n'a pas été tentée sur des hommes, car il a été constaté que pour une très faible augmentation de la tension appliquée, la mort survenait rapidement.

M. Daguerre souligne l'importance que présente la détermination de la tension dangereuse : il cite en particulier le cas des réparations de chaudières où il paraît indispensable de réduire le plus possible la tension d'alimentation des lampes baladeuses et d'adopter par exemple une tension voisine de 20 V.

M. Brylinski partage entièrement l'avis de M. Daguerre. Le but à atteindre, c'est de déterminer la valeur de la tension la plus élevée qui ne soit pas dangereuse. Il fait remarquer que dans les cas signalés au cours de la discussion, réparation de chaudières, de turbines, etc... étant donné le peu d'importance de l'installation à alimenter à tension réduite, il n'y a pas de difficulté à prévoir une tension très basse avec laquelle les accidents seraient sûrement évités. Mais il faut envisager maintenant le cas des locaux agricoles, écuries, étables, etc... qui réalisent des conditions très dangereuses et pour lesquelles, étant donné le développement des installations, il ne peut être question de trop abaisser la tension de distribution. C'est là qu'il faudrait utiliser la tension la plus élevée qui ne soit pas dangereuse.

Il serait nécessaire d'unifier les règles qui existent déjà à ce sujet dans un certain nombre de pays, ces règles ne s'appliqueraient d'ailleurs qu'au courant alternatif seul utilisé pour la distribution.

M. Girault indique que l'Association des Propriétaires d'appareils à vapeur recommande l'emploi d'une tension de 30 V pour l'alimentation des lampes baladeuses utilisées pour la visite des chaudières. Cette tension paraît donner toute sécurité; il serait intéressant que les exploitants signalent les accidents qui viendraient à être constatés avec cette tension.

M. Brylinski et M. Parodi indiquent qu'à leur connaissance, il n'y a jamais eu à enregistrer d'accidents avec des tensions de l'ordre de 30 V.

M. Bunet d'autre part, met en évidence que moyennant certaines précautions très simples, l'exploitation d'usines d'électrochimie qui mettent cependant en jeu des puissances importantes à des tensions continues de l'ordre de 500 V peut s'effectuer avec une très grande sécurité.

A la suite d'une discussion à laquelle prennent part MM. Brylinski, Bunet et Parodi, il est reconnu que, pratiquement, le courant continu est beaucoup moins dangereux que le courant alternatif.

M. MONMERQUÉ rappelle ci-après les résultats d'expériences faites à l'usine des Halles en 1894 sur la résistance électrique du corps humain. (Extrait de l'ouvrage *Contrôle des installations électriques*, par M. A. MONMERQUÉ, 2e édition 1904, p. 488 et 492).

1° Courant continu.

Sujet n° 1 70 V — supportés, mais sensation intense de fer rouge, surtout au négatif.
n° 3 39 V — sensation de brûlure, mains commencent à coller ;
81 V — sensation fer rouge, surtout au négatif ;
n° 4 44 V — mains commencent à coller ;
89 V — moins de collage qu'à 44 V ;
n° 5 42 V — très sensible, mais s'y habitue ;
62 V — supporte bien ;
n° 6 37 V — sensation de brûlure au négatif ;
57 V — sensation fer rouge, surtout au négatif, douloureuse au poignet positif — main négative colle.
76 V — sensation très douloureuse, négative tout à fait collée, même après la suppression du courant.

2° Courant alternatif — 88 périodes.

Sujet n° 1 23 V — lâche difficilement, sudation abondante ;
30 V — maximum supportable, ne peut plus lâcher ;
n° 2 33 V — lâche encore, mais ne peut plus supporter ;
n° 3 17 V — lâche avec peine ;
n° 4 26 V — lâche avec difficulté, sudation abondante ;
n° 6 25 V — ne peut plus lâcher ;
36 V — supporte encore, ne sue pas, c'est exceptionnel ;

Conclusions.

Continu — A partir de 70 volts, sensation généralement douloureuse, la main au négatif colle et reste collée après passage du courant.

Alternatif — A partir de 15 volts, sensation généralement douloureuse ;
A partir de 25 volts, généralement contraction et le sujet ne peut lâcher.

M. DAGUERRE remercie M. MONMERQUE de sa communication et insiste sur ce que les effets du courant dépendent surtout des conditions physiques des individus.

LE DISPATCHING DE L'UNION D'ÉLECTRICITÉ (1)

par M. L. Dupuis.

L'exploitation du réseau de l'Union d'Electricité, qui va s'accroître prochainement de la nouvelle centrale de Vitry Sud et des interconnexions avec les autres usines de la région parisienne, a nécessité, dès 1928, la création d'un organe de répartition de la charge entre les usines et de commandement de toutes les manœuvres à exécuter sur le réseau. Le présent article décrit cet organisme installé au siège social de l'Union d'Electricité, 3, rue de Messine, à Paris.

Description sommaire du réseau de l'Union d'Electricité.

L'Union d'Electricité assure l'alimentation (fig. 1).

1° Des réseaux de la banlieue parisienne : Nord-Lumière (2), Ouest Lumière, Sud-Lumière, Est-Lumière, Electricité du Nord-Est Parisien ;

2° de la Société des Transports en Commun de la Région Parisienne (2) et du Chemin de fer Nord-Sud de Paris (2) ;

3° des Chemins de fer de l'Etat, P.-O. (traction et services électriques des gares et de la voie) et P.L.M. (ateliers et services divers de Paris) ;

4° de deux réseaux situés dans la région d'Orléans : l'Union Electrique du Bassin Moyen de la Loire et la Société Lyonnaise des Eaux et de l'Eclairage (Orléanaise) ;

5° du réseau de la Compagnie Parisienne de Distribution d'Electricité (par moitié, l'autre moitié de cette fourniture étant assurée par la Société d'Electricité de Paris et la Société d'Electrité de la Seine) ;

6° d'une importante partie des Services des Eaux et de l'Assainissement de la Ville de Paris.

L'énergie nécessaire à cet ensemble est fournie par :

1° Quatre centrales thermiques appartenant à l'Union d'Electricité : Gennevilliers (36 0000 kW), Vitry-Nord (80 000 kW), Nanterre

(1) Communication présentée à la séance du 23 octobre 1930 de la 4e Section de la Société Française des Electriciens.

(2) Le Nord-Lumière, la Société T.C.R.P. et le Nord-Sud sont alimentés partie par l'Union d'Electricité partie par la Société d'Electricité de Paris.

(20 000 kW), Issy-les-Moulineaux (20 000 kW). Ces deux dernières usines sont spécialisées dans l'alimentation des Chemins de fer de l'Etat réseau à 25 p : s) :

une centrale prévue pour 500 000 kW est en construction à Vitry-

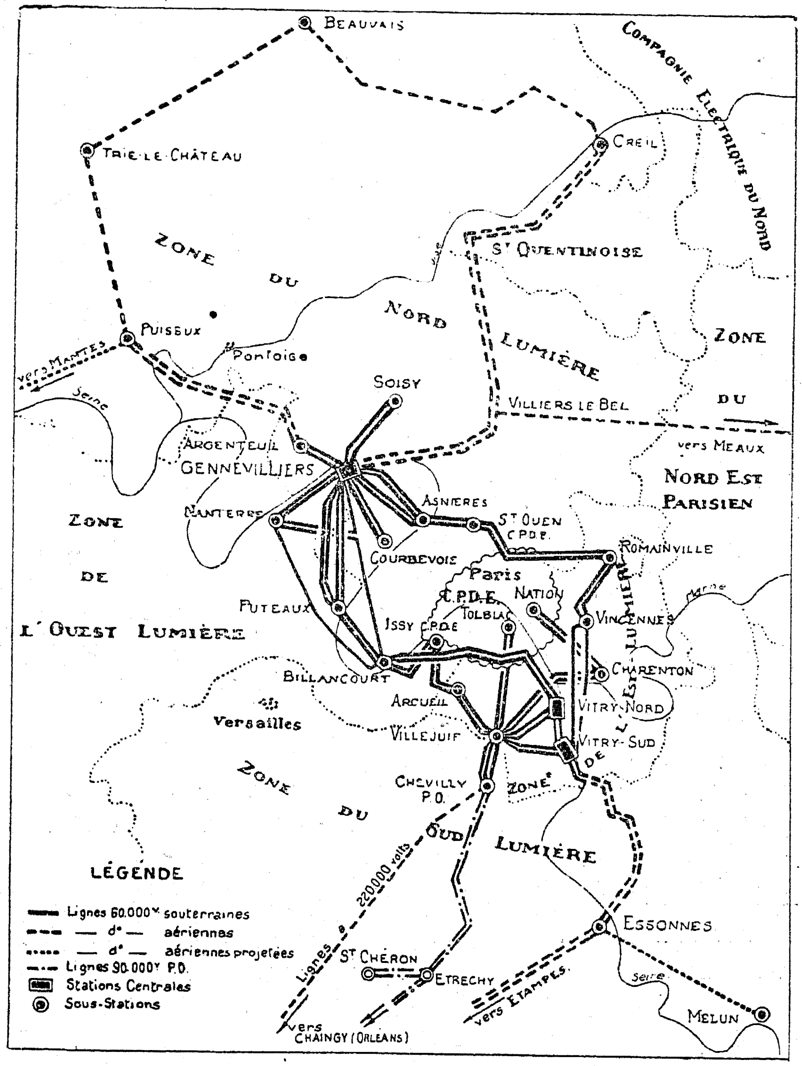


Fig. 1. — Carte du réseau.
N. B. — Les câbles Tolbiac-Villejuif, Villejuif-Charenton, Charenton-Nation, appartiennent à la C. P. D. E.

Sud ; une première tranche de 110 000 kW sera mise en service à la fin de l'année 1930, une deuxième tranche de 110 000 kW est commencée.

2° les centrales de la Société pour le Traitement Industriel des Résidus Urbains (Saint Ouen, Romainville, Ivry et Issy-les-Moulineaux) :

3° les centrales de Saint-Ouen et d'Issy-les-Moulineaux de la Compagnie Parisienne de Distribution d'Electricité exploitées par le Consortium : Union d'Electricité, Electricité de Paris, Electricité de la Seine ;

4° les centrales hydro-électriques d'Eguzon (50 000 kW, Union Hydro-Electrique) et de Coindre (24 000 kW, usine du P.-O. exploitée par l'Union Hydro-Electrique).

Des accords passés avec la Société pour le Transport de l'Energie Electrique du Massif Central, permettront prochainement de recevoir à Paris, par des lignes à 220 000 V, d'importantes fournitures d'énergie hydraulique en provenance d'autres usines en construction dans le Massif Central, notamment de celle de la Truyère.

A échéance plus lointaine, la région parisienne recevra sans doute également une quantité notable d'énergie hydraulique d'autres provenances, notamment de la région du Sud-Est.

L'énergie produite est répartie dans la région parisienne par un réseau souterrain à 60 000 V dont le développement atteint 250 kilomètres environ et qui alimente des sous-stations de transformation assurant la fourniture aux différents clients à leur tension de distribution (5 000, 10 000, 12 500, 13 200 ou 15 000 V).

La grande banlieue parisienne est alimentée par des sous-stations reliées au réseau souterrain par des lignes aériennes à 60 000 V (Creil, Beauvais, Trie-le-Château, Limay, Puiseux, Chauconin, Essonnes).

L'énergie produite par les centrales hydro-électriques est transportée par des lignes à 90 000 V et 150 000 V alimentant, au passage, les sous-stations de traction du P.-O. et des sous-stations de distribution ; elle est transformée, à l'arrivée à Paris, à 60 000 V au poste de Chevilly du P.-O.

L'interconnexion des différents producteurs de la région parisienne et des centrales hydrauliques du Massif Central (Truyère, Cère, Diège, Marèges), sera réalisée dans un important poste de couplage construit par l'Union d'Electricité, à Villejuif.

Rôle du dispatching (fig. 2)

L'exploitation de cet ensemble doit être assurée de telle façon que :

1° A chaque instant, la puissance totale des machines en service dans les différentes usines soit suffisante pour fournir, en toute sécurité, la puissance demandée par les clients ;

2° en cas de défaillance de tout ou partie d'une usine productrice, la puissance manquante soit reportée sur les autres usines dans le plus bref délai possible ;

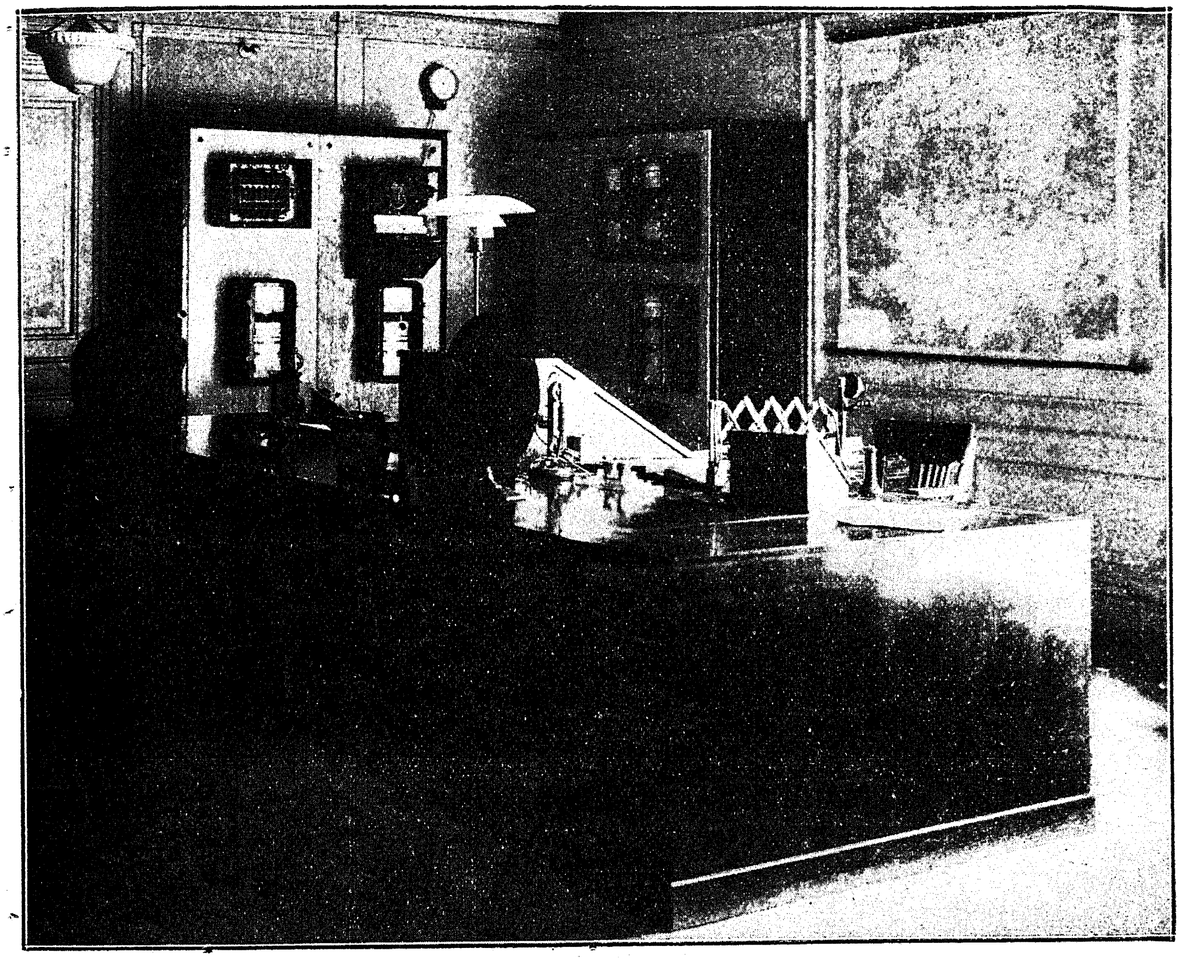


Fig. 2. — Vue d'ensemble du dispatching.
Au premier plan : les bureaux des ingénieurs de service avec les différents appareils téléphoniques et le haut-parleur ; au fond : les panneaux des appareils de contrôle des usines et des réseaux (détails : figure 3) ; au plafond : les appareils d'éclairage (éclairage indirect étudié spécialement).

3° en cas d'incident sur une partie du réseau provoquant un arrêt d'une ou plusieurs sous-stations, le service interrompu soit repris le plus rapidement possible.

L'obligation de satisfaire à ces nécessités exige l'existence d'un service de permanence parfaitement bien renseigné sur les besoins du

réseau, les disponibilités des usines, mis au courant immédiatement des incidents survenus dans les usines et les sous-stations et capable de prendre rapidement les mesures nécessaires.

Cet organisme, que les Américains appellent Dispatching, est installé à l'Union d'Electricité dans un local spécialement aménagé à son siège social à Paris.

Contrôle de la marche des usines génératrices

La première des conditions énoncées plus haut se trouve réalisée :

1° Par l'établissement de statistiques et de courbes de charge. Ces renseignements permettent de prévoir, chaque jour, les besoins du réseau avec une assez grande précision et de tracer la courbe de la charge totale qui sera demandée par le réseau ;

2° par la connaissance des disponibilités des différentes usines génératrices :

chaudières et machines en service ou disponibles dans les usines thermiques :

débit des rivières et réserves dans les barrages des usines hydroélectriques et disponibilités en machines :

3° par la connaissance des disponibilités des câbles de transport à 60 000 V des lignes à 90 000 et 150 000 V.

Cet ensemble de renseignements permet de fixer à l'avance le programme de marche de chaque usine, de façon à obtenir la meilleure utilisation de chacune d'elles et le meilleur rendement de l'ensemble.

Des appareils de mesure placés sous les yeux des ingénieurs de quart permettent de contrôler l'exécution des programmes fixés aux principales usines.

Contrôle de la fréquence et de la tension du réseau (fig. 3).

Un fréquencemètre enregistreur gradué au 1/20 de période et un voltmètre enregistreur sensible et à grande échelle donnent la fréquence de la distribution et la tension du réseau à 60 000 V, au voisinage de l'usine de Gennevilliers.

Le fréquencemètre est du type enregistreur, construit par la Maison Leeds et Northrup à Philadelphie, dont le principe est le suivant :

La plume de l'enregistreur se déplace le long d'une génératrice d'un rouleau de papier se déroulant d'un mouvement uniforme obtenu au moyen d'un moteur synchrone alimenté par du courant à la fréquence qu'il s'agit de mesurer.

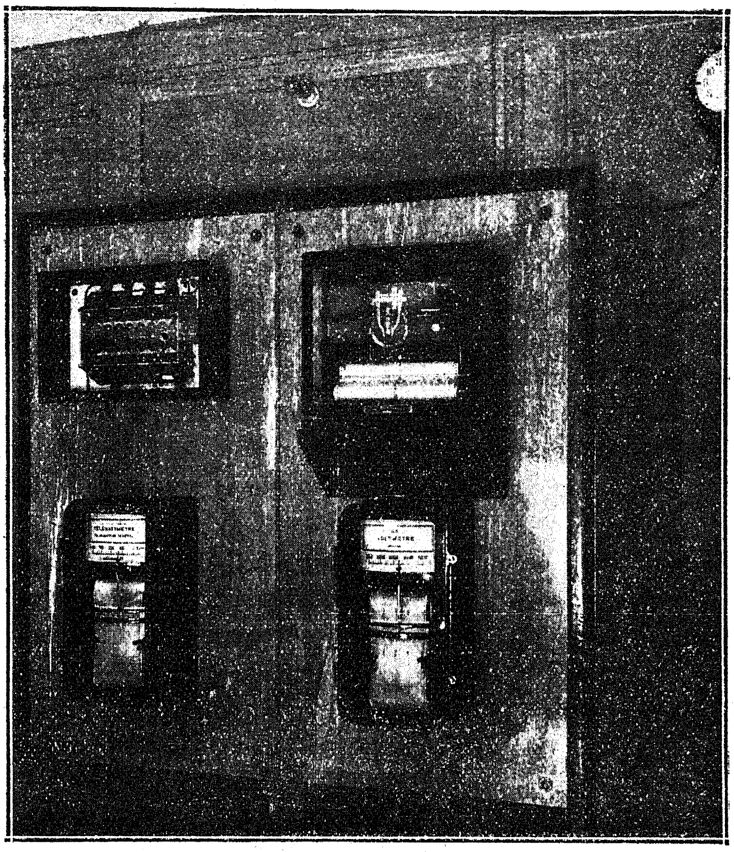


Fig. 3. — Les appareils de contrôle généraux.
1°) Angle supérieur droit : pendule synchrone.
2°) Sur les panneaux de marbre : de gauche à droite et de haut en bas : appareil totalisant les transmissions des puissances des usines, fréquencemètre enregistreur ; enregistreur du total des puissances des usines ; voltmètre enregistreur de la tension sur le réseau de 60 000 volts.

Un électrodynamomètre est excité par le même courant, et son cadre mobile est relié aux deux sommets d'un pont d'impédance. La position de ces sommets est variable, et le contact mobile qui le constitue est solidaire mécaniquement de la plume de l'enregistreur ; la puissance nécessaire au déplacement de cet ensemble est fournie par le moteur synchrone, par l'intermédiaire d'un embrayage à deux directions, commandé par l'électrodynamomètre.

Lorsque les deux sommets du pont sont équipotentiels, il n'y a pas embrayage, et la plume de l'enregistrement reste fixe, indiquant la valeur instantanée de la fréquence ; si celle-ci vient à varier, un courant parcourt le cadre qui dévie dans un sens ou dans l'autre, suivant le sens de la variation de la fréquence ; l'embrayage fonctionne alors et déplace les sommets du pont et la plume dans un sens tel que le courant, dans le cadre, tend à s'annuler ; un nouvel état d'équilibre tend à s'établir et l'enregistreur indique la nouvelle valeur de la fréquence. L'amplitude du mouvement de la plume est de 25 centimètres pour une variation de la fréquence de 4 périodes par seconde.

L'exactitude de la fréquence est en outre contrôlée, avec une grande précision, au moyen d'une horloge différentielle actionnée, d'une part, par un moteur synchrone alimenté par le réseau, et, d'autre part, par une horloge entretenue électriquement et remise à l'heure automatiquement par les signaux horaires de la Tour Eiffel.

La fréquence du réseau est corrigée périodiquement de telle manière que l'horloge différentielle ne s'écarte jamais de son zéro de plus d'une minute de temps et qu'elle soit sensiblement à zéro tous les jours à midi.

Les variations de fréquence supérieures à 5/10 de période en plus ou en moins, par rapport à la fréquence 50 p : s, sont signalées par des contacts placés sur le fréquencemètre enregistreur, qui actionnent une sonnette d'alarme.

Le maintien d'une fréquence réglée avec précision est d'une grande importance pour la bonne marche de l'ensemble qui est réglée de la façon suivante :

Toutes les usines génératrices, thermiques ou hydrauliques marchent en parallèle. Si, à un instant donné, n usines sont en marche, $n-1$ ont à assurer une charge qui leur est fixée à l'avance par une courbe établie par le dispatcher, la n^e usine agit sur les régulateurs de ses machines, de telle manière que la fréquence du réseau reste constamment égale à 50 périodes par seconde.

Toute variation importante dans la fréquence signifie qu'un incident important vient de se produire soit sur le réseau, soit dans une usine : disjonction des feeders produisant une diminution de la charge totale, ou la séparation d'une des usines, avarie d'un groupe générateur nécessitant son arrêt précipité, incident d'auxiliaires provoquant une baisse de pression dans une usine et mettant celle-ci dans l'impossibilité de suivre le programme qui lui a été fixé.

Le fréquencemètre donne l'alarme, et le dispatcher doit rechercher la

nature et le lieu de l'incident. Si aucun appareil ne lui indique, à chaque instant, la charge à chaque usine, il doit attendre, pour intervenir, que l'usine intéressée lui téléphone, ce qui peut être une cause de retard si la gravité de l'incident absorbe, pendant un temps assez long, le personnel. Or, dans le cas d'une baisse de fréquence, l'intervention du dispatcher doit être aussi rapide que possible, pour éviter qu'elle ne s'aggrave, l'ensemble des usines étant surchargé.

Il est donc très utile d'avoir, au dispatching, des appareils indiquant la charge des usines, qui, outre leur rôle en cas d'incident, permettent le contrôle permanent de l'exécution des programmes.

Contrôle de la charge des usines

A cet effet, des enregistreurs téléwattmétriques ont été construits, à la demande de l'Union d'Electricité, par la Compagnie pour la fabrication des compteurs et matériel d'usines à gaz et par les ateliers Brillié.

Chaque transmission téléwattmétrique, entre une usine et le dispatching, comprend :

1° un appareil émetteur placé à l'usine dont on veut connaître la charge totale;

2° une ligne de transmission à deux fils, constituée par une ligne téléphonique normale ;

3° un appareil récepteur enregistreur placé au dispatching, indiquant la charge de l'usine considérée.

L'appareil émetteur se compose, d'abord, d'un dispositif de totalisation des puissances des machines génératrices de l'usine.

Deux systèmes de totalisation sont employés :

1° celui de la Compagnie pour la fabrication des compteurs et matériel d'usines à gaz (fig. 4), qui utilise une source auxiliaire alternative à tension sensiblement constante U. Chaque génératrice de l'usine possède un appareil dit « transmetteur téléwattmétrique » branché en parallèle avec ses compteurs d'énergie, et qui donne, à chaque instant, une fraction u de la tension de référence U telle que le produit Uu soit proportionnel à la puissance aux bornes de la machine. La somme $U\Sigma u$ pour toutes les machines de l'usine, représente donc la puissance totale. Les quantités U et Σu actionnent un compteur d'induction dont la vitesse est alors proportionnelle à la charge totale de l'usine.

L'arbre de ce compteur entraîne un collecteur aménagé pour établir

des contacts émettant des impulsions à courant continu, alternées, sur une ligne téléphonique reliant l'usine au dispatching.

2° Le deuxième système, figure 5, est employé lorsqu'il est difficile d'avoir une source de référence alternative de tension suffisamment constante et sans interruption, comme par exemple dans une station centrale dont les auxiliaires sont tous à courant continu, ou dans un poste de couplage à très haute tension dans lequel l'alimentation des auxiliaires est assurée par un branchement sur le secteur local.

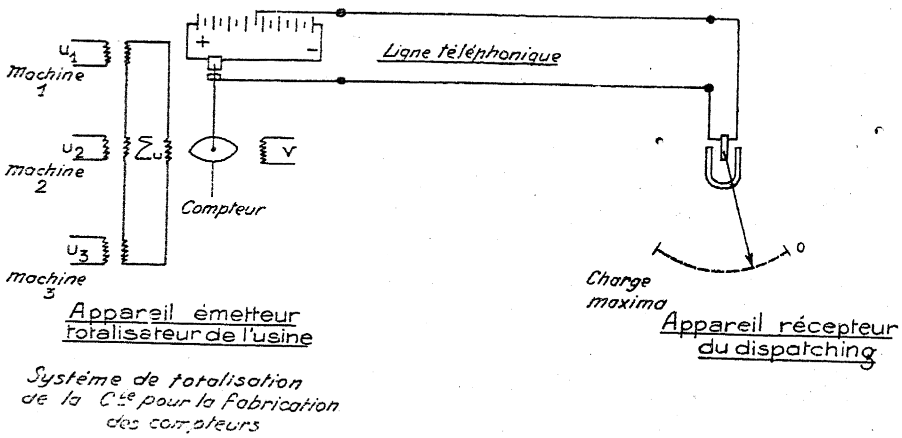


Fig. 4

Dans ce cas, chaque machine génératrice est munie d'un compteur d'induction à grand couple dont l'arbre entraîne, comme précédemment, un collecteur destiné à émettre des impulsions.

Les impulsions produites par les compteurs de toutes les machines, sont totalisées par un système d'engrenages différentiels et dont l'arbre totalisateur envoie, à son tour, des émissions sur une ligne téléphonique reliant l'usine au dispatching.

Les deux systèmes totalisateurs décrits ci-dessus donnent, en définitive, des impulsions dans la ligne téléphonique; chaque impulsion envoyée de l'usine au dispatching, correspond à une quantité d'énergie déterminée.

L'appareil récepteur placé au dispatching compte le nombre d'impulsions reçues, c'est-à-dire l'énergie produite par l'usine, pendant un temps donné, et, par suite, la puissance moyenne pendant ce temps.

L'ensemble d'une transmission est réalisé de telle sorte que l'usine émet 120 impulsions par minute à sa charge maxima.

La tension des émissions, au départ, est de ± 20 volts, et la puissance mise en jeu est de l'ordre de 0,1 watt. La transmission fonctionne sur une ligne de 12 km dont l'isolement entre fils n'est que de 20 000 ohms.

Le récepteur placé au dispatching se compose d'un enregistreur à ordonnées rectilignes de la Compagnie pour la Fabrication des Compteurs et Matériel d'usines à gaz, dont le déroulement du papier est

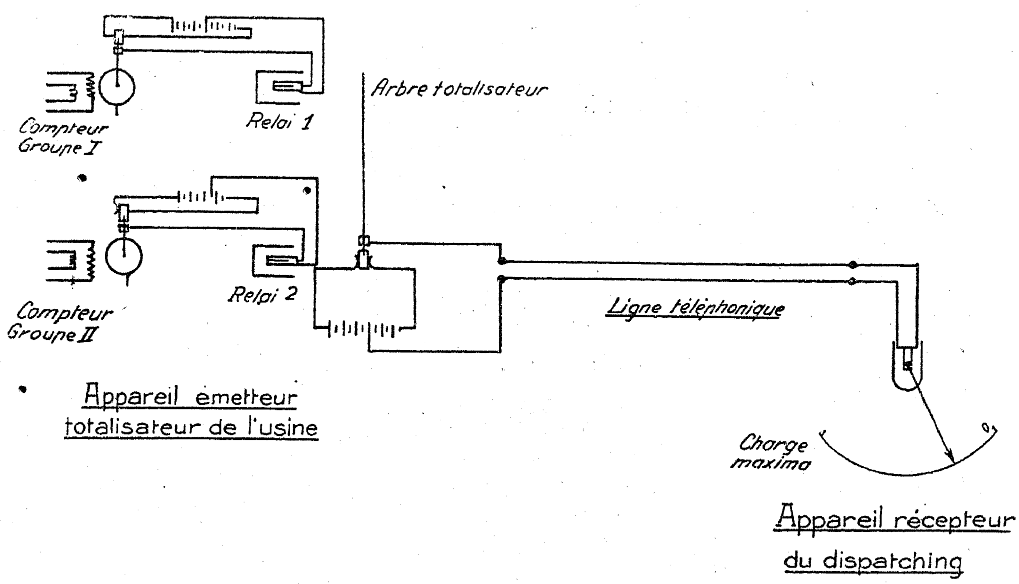


Fig. 5

actionné par la pendule mère du dispatching. L'appareil de mesures proprement dit, est remplacé par le dispositif de comptage des impulsions, construit par les ateliers Brillié, et dont le principe est le suivant :

Un relais polarisé récepteur déplace d'un même angle, à chaque impulsion reçue, un index tournant autour d'un axe vertical. Toutes les minutes, une émission de la pendule mère produit deux mouvements consécutifs ; elle libère la plume de l'enregistreur mobile autour du même axe que l'index qui vient en contact avec celui-ci ; l'écart angulaire de la plume, à cet instant, par rapport à son zéro, est alors proportionnel au nombre d'impulsions reçues pendant la minute écoulée. Lorsque la plume a pris sa position, l'index est amené au zéro, et un nouveau cycle de 1 minute recommence.

La courbe tracée par la plume est celle de l'énergie moyenne produite par l'usine, considérée pendant une minute ; elle s'écarte peu de celle de la puissance instantanée, et constitue une approximation suffisante pour le dispatcher.

Les impulsions reçues des différentes usines peuvent, ensuite, être facilement totalisées par un dispositif à différentiels qui entraîne un enregistreur-totalisateur de la puissance du réseau, analogue aux récepteurs individuels des usines.

Liaisons téléphoniques.

Pour permettre aux ingénieurs de quart de suivre la marche du réseau et d'être avertis *immédiatement* de tout incident, il est nécessaire que des *liaisons téléphoniques privées et parfaitement sûres* existent entre le dispatching et tous les points d'alimentation ou de distribution.

Ces liaisons constituent deux systèmes distincts, l'un destiné à relier au dispatching et entre eux tous les centres de la région parisienne (usines thermiques et sous-stations de traction et de distribution), l'autre permettant de communiquer avec les usines hydro-électriques du Massif Central, les sous-stations du Chemin de fer de Paris à Orléans et les postes de distribution alimentés par les lignes à 90 000 volts et 150 000 volts.

I. — *Réseau téléphonique de la région parisienne.*

Chaque usine ou sous-station est reliée par une ligne privée au dis-

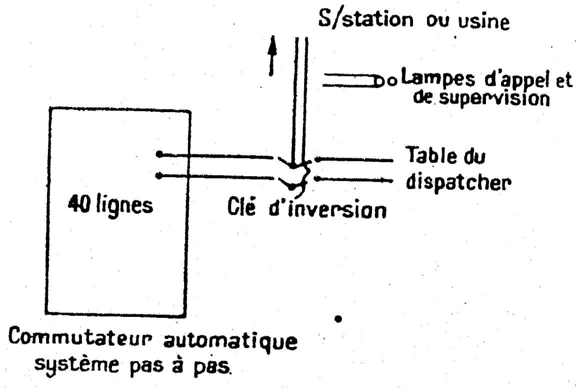


Fig. 6. — Disposition schématique de l'installation téléphonique de la région parisienne.

patching ; cette ligne passe en coupure dans un standard manuel à deux

opérateurs par une clé à inversion et vient ensuite aboutir à un commutateur automatique de 40 lignes. (fig 6).

Cette disposition permet :

a) Aux différentes usines ou sous-stations, de s'appeler mutuellement en automatique sans intervention du dispatcher. Toutefois, leurs communications sont contrôlées par des lampes de supervision ;

b) A l'un des deux opérateurs du standard, d'appeler un poste quelconque, même si celui-ci est en communication, la clé d'inversion coupant automatiquement la ligne intéressée avant son arrivée au standard automatique.

Une installation spéciale permet l'essai rapide d'isolement et de continuité d'une ligne quelconque paraissant défectueuse.

En outre, des communications directes par lignes souterraines relient chaque sous-station aux sous-stations voisines, permettant de suppléer à une ligne directe en dérangement.

II. — *Réseau téléphonique du chemin de fer de Paris à Orléans.*

Une ligne relie le dispatching avec l'usine d'Eguzon ; toutes les stations et postes de coupure sont dérivés sur cette ligne et équipés avec l'appel sélectif Western. Une deuxième ligne relie de proche en proche les sous-stations et permet de communiquer en cas de dérangement de la ligne dispatching.

Une ligne spéciale relie l'usine d'Eguzon à l'usine de Coindre ; de plus, une communication par ondes dirigées à haute fréquence relie, d'une part, le poste de Chaingy (Orléans) à l'usine d'Eguzon et, d'autre part, l'usine d'Eguzon à l'usine de Coindre.

Schéma du réseau.

Un schéma complet du réseau est dessiné sur un tableau vertical placé devant les ingénieurs de quart (fig. 7).

Sur ce schéma sont figurés les tableaux à haute tension de toutes les sous stations et usines avec leurs interrupteurs et sectionneurs. De petites lampes allumées ou éteintes représentent les interrupteurs fermés ou ouverts, et de petites barrettes mobiles, les sectionneurs.

Ce schéma est tenu constamment à jour par les ingénieurs de quart, au fur et à mesure des manœuvres et des incidents.

Aucune manœuvre n'est faite sans un ordre préalable du dispatching et tout incident lui est immédiatement signalé, afin que les mesures nécessaires soient prises.

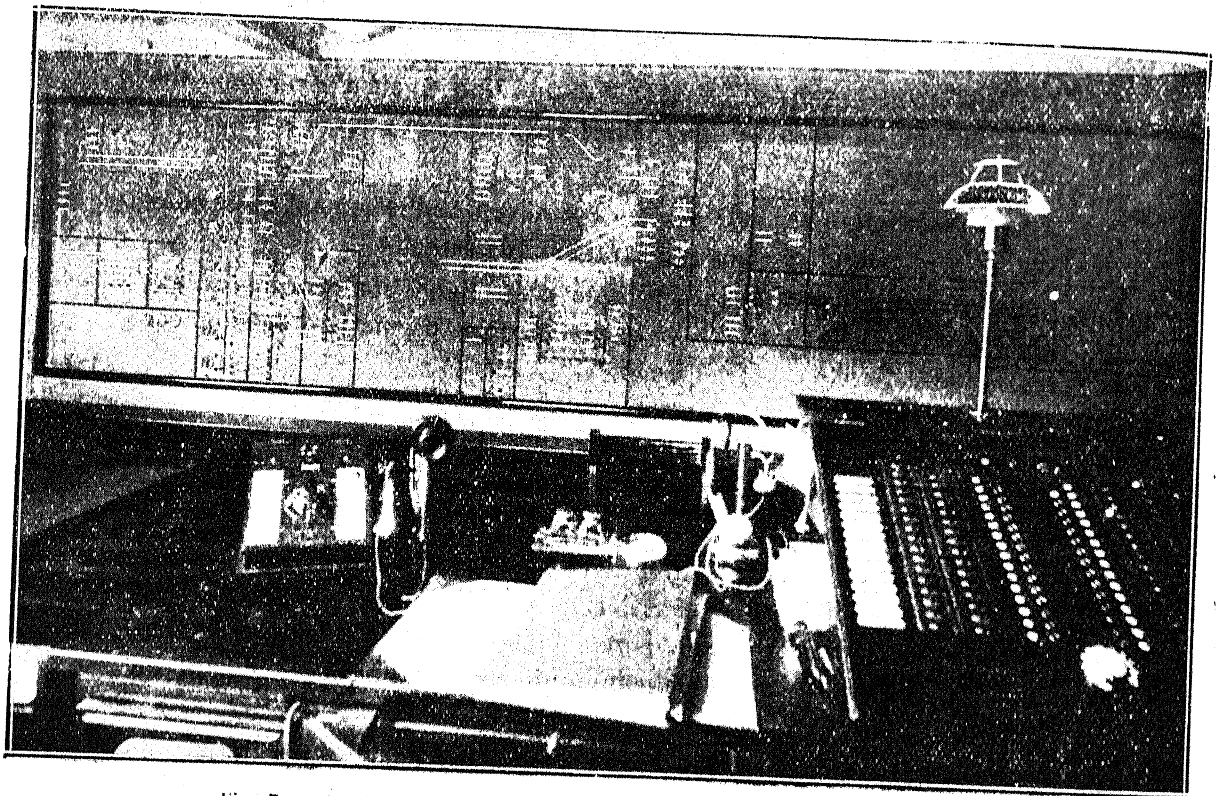


Fig. 7. — Le dispatching tel qu'il est vu par un des ingénieurs de service. Sur le mur du fond, le schéma lumineux. Sur la table à gauche, l'appareil téléphonique permettant de communiquer avec tous les postes et sous-stations à 90 000 volts entre Paris et Eguzon ; à droite, le standard téléphonique des usines et sous-stations à 60 000 volts de la région parisienne.

L'organisation que nous venons de décrire permet de maintenir la discipline indispensable dans cet ensemble complexe qui exige une grande régularité de marche et une continuité parfaite dans l'alimentation.

Grâce à cette organisation et aux perfectionnements incessants apportés à la qualité et à la disposition des installations, ainsi qu'à la protection des machines et des feeders, l'Union d'Electricité assure l'alimentation de sa nombreuse clientèle avec une régularité comparable à celle des grands réseaux des Etats-Unis.

DISCUSSION

M. Girard demande quel est le nombre des Ingénieurs assurant le dispatching.

M. Dupuis : Le dispatching est assuré en permanence par une équipe de 2 ingénieurs, l'un pour la région parisienne, l'autre pour le réseau de la Compagnie d'Orléans; il y a 4 équipes (une de remplacement). Pendant la journée, un 3e Ingénieur est chargé de la répartition de l'énergie entre les usines.

M. Chevrie pose quelques questions au sujet des liaisons téléphoniques et demande en particulier quel est le temps nécessaire à la remise en état par l'Administration des P.T.T. d'une ligne avariée.

M. Dupuis indique que pour les lignes P.O. l'avarie une fois localisée est réparée dans la journée par les services locaux des P.T.T.

En ce qui concerne la transmission à distance des indications d'appareils, M. Chevrie demande si la terre est utilisée comme retour.

M. Dupuis répond négativement. Cependant, des expériences de transmission avec un seul fil et retour par la terre ont été faites et ont donné de bons résultats.

M. Duval insiste sur l'importance du bon fonctionnement des communications téléphoniques pour l'exploitation de réseaux H.T. aussi complexes.

Il montre l'intérêt que présentent les installations de téléphonie par courant porteur sur les lignes H.T. et met en évidence qu'il est indispensable de pouvoir disposer à la fois de liaisons téléphoniques ordinaires et de liaisons par haute fréquence.

M. Vial demande dans quelles conditions le dispatcher se maintient en contact avec les équipes de réparations.

M. Dupuis répond qu'il n'existe pas de communication directe entre le dispatcher et les équipes, la liaison se fait par l'intermédiaire des sous-stations. Le dispatcher peut toutefois alerter les équipes à leur point d'attache.

M. GIRARD signale l'intérêt des prises téléphoniques sur le parcours des lignes. De telles prises ont été installées sur son réseau d'accord avec l'administration des P.T.T. pour le branchement d'appareils téléphoniques portatifs, permettant aux équipes de converser avec le dispatcher.

TRAVAUX DES SECTIONS

EXTRAITS DES PROCÈS-VERBAUX

1re SECTION. — PRODUCTION ET UTILISATION MÉCANIQUE DE L'ÉLECTRICITÉ

Président : M. DARRIEUS.

SÉANCE DU 5 JUIN 1930. — *Les Calculs des Effets électrodynamiques.*

M. DARRIEUS examine le cas d'un transformateur dont les enroulements haute et basse tension H et B (fig. 1) n'ont pas le même plan

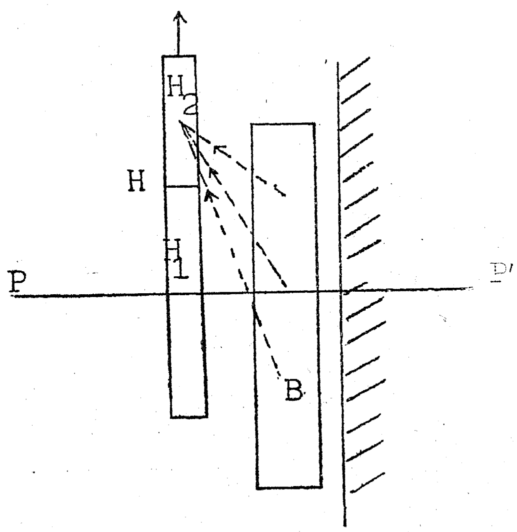


Fig. 1. — PP', plan équatorial de B.

de symétrie équatorial. On peut, en se référant au plan de symétrie équatorial PP' de l'enroulement intérieur (basse tension) décomposer l'enroulement extérieur (haute tension) en deux parties H_1 et H_2 dont l'une H_1 admet le plan PP' comme plan de symétrie.

Pour calculer les efforts électrodynamiques de B sur H on peut admettre que, par raison de symétrie, l'action de B sur H_1 ne donne

pas de composante longitudinale et que celle-ci est due uniquement à l'action de B sur H_2

En appliquant les méthodes de calcul classiques (Birmann par exemple) il se présente l'anomalie suivante : les efforts qui résultent d'intégration de la forme $\int \frac{dr}{2}$ devraient théoriquement croître au delà de toutes limites si le bobinage était étendu indéfiniment, ce qui est physiquement inexact.

Ces efforts tendent en fait vers une limite finie qui est par ailleurs à peu près indépendante de la présence du fer.

L'auteur présente une méthode de calcul qui ne donne pas lieu à

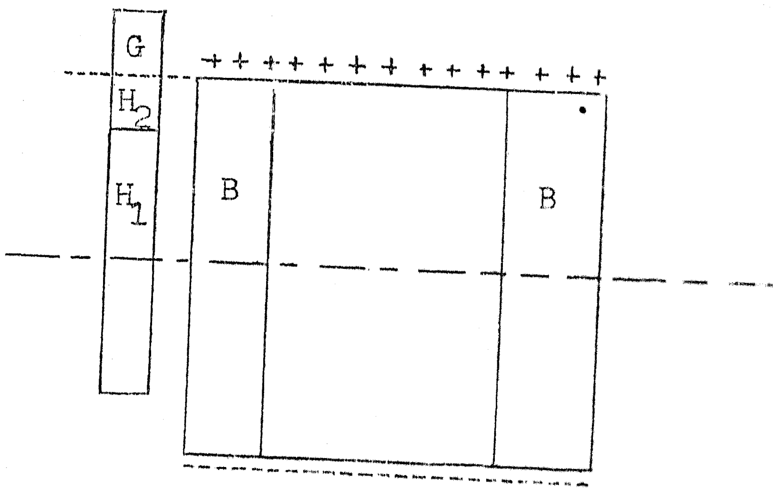


Fig. 2.

cette réserve. Le principe consiste à substituer au solénoïde constitué par l'enroulement B l'aimant équivalent qui peut être représenté à un instant donné par des masses magnétiques positives et négatives uniformément réparties sur les plans terminaux, inférieur et supérieur (fig. 2). Le centre de gravité G de la section de l'enroulement H_2 par le plan de la figure se trouve au voisinage du plan terminal supérieur et le calcul des efforts électrodynamiques sur H_2 se réduit à celui de l'action des masses magnétiques réparties sur ce plan en des points tels que G, l'action de la plage inférieure étant négligeable.

On peut, pour déterminer le potentiel des forces, et en utilisant les idées de Maxwell, ramener le problème à des cas simplificateurs en remplaçant le système donné par un système équivalent comportant des doublets.

Dans ces conditions si V_0 est une solution particulière donnant la

fonction potentielle le long d'un point de l'axe sous la forme :

$$V_0 = \frac{a_1}{r} + \frac{a_2}{r^2} + \frac{a_3}{r^3} + \cdots\cdots$$

la solution générale pour un point quelconque sera donnée par une expression de la forme

$$V = \frac{a_1}{r} + \frac{a_2 p_2}{r^2} + \frac{a_3 p_3}{r^3} + \cdots\cdots$$

dans lesquelles p_2 p_3... sont des polynômes de Legendre. La compo-

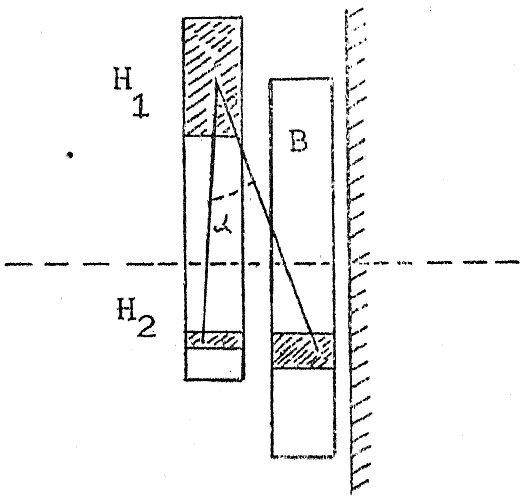


Fig. 3.

sante radiale de la force est alors obtenue en prenant la dérivée du potentiel le long du rayon.

On a ainsi une décomposition en harmoniques sphériques dont la valeur le long d'un parallèle reste constante.

M. de Pistoye fait observer que la critique faite à la méthode de Birmann est discutable. En décomposant l'enroulement H en 2 parties H_1 et H_2 comme l'a fait M. Darrieus, on doit considérer que l'action sur H_1 résulte non pas de B seulement mais aussi de H_2. A tout élément de B (fig. 3) correspond un élément de H_2 et les droites joignant les centres de gravité de ces éléments au centre de gravité de H_1 et donnant la direction des efforts élémentaires, font entre elles un certain angle α qui tend vers zéro si la longueur des enroulements croît indéfiniment, l'effort longitudinal calculé dans ces conditions reste donc fini.

M. Darrieus maintient son point de vue.

Séance du 11 Décembre 1930. — *Au sujet des marques de bornes*, par M. Girault.

M. Girault rend compte des résultats obtenus au congrès de Stockholm (Comité d'Etudes n° 16 des marques de bornes).

Antérieurement à ce congrès, les discussions du Comité avaient principalement porté sur le système dit « mnémonique » proposé par la France, et sur le système dit « arbitraire » proposé par l'Allemagne et la Suisse.

Aucun accord n'ayant pu être obtenu sur les divers systèmes en présence, M. Rosskopf, délégué hollandais, proposa un compromis consistant à employer les marques mnémoniques pour le courant continu et celles du système arbitraire pour les courants alternatifs simples ou triphasés. Afin d'éviter toute confusion, le délégué suisse, M. Huber-Ruf, proposa de spécifier que les bornes seraient conformes au système français pour le courant continu et au système allemand ou suisse pour le courant alternatif.

M. Girault se rallia à cette proposition sous réserve qu'elle serait adoptée par les autres Comités.

Les délégués des Etats Unis et de la Grande Bretagne déclarèrent que la situation n'étant pas encore définitivement réglée dans leur pays, ils s'efforceraient de s'inspirer de la proposition du Comité d'Etudes.

Il fut décidé à l'unanimité de prendre comme point de départ la proposition de compromis rappelée plus haut.

L'étude de la désignation du mode de connexion des transformateurs triphasés fut remise à plus tard.

En ce qui concerne le sens de rotation des machines, on se mit d'accord sur les expressions « sens des aiguilles d'une montre » et « sens inverse des aiguilles d'une montre » et sur l'emploi d'une flèche placée sur la plaque signalétique de la machine, de telle manière que toute confusion soit impossible. On décida d'autre part de procéder à une consultation écrite des Comités nationaux qui permette de décider de quel côté des machines, le sens de rotation doit être déterminé en particulier pour les commutatrices et groupes moteurs générateurs.

La question des marques des bornes des appareils et compteurs doit être mise à l'étude en prenant comme point de départ les propositions antérieures allemande et suisse; la question des couleurs des conducteurs est également posée.

Enfin, il a été décidé d'élargir le champ d'études du Comité qui deviendrait le Comité des « Marques de bornes et autres marques d'identification. »

M. Darrieus ajoute que l'adoption, pour le courant continu, de la proposition française doit être considérée comme un heureux résultat.

2e SECTION. — ECLAIRAGE ET CHAUFFAGE

Président : M. Darmois

Séance du 4 Mars 1930. — *Présentation de nouvelles lampes au néon à basse tension*, par M. Abadie.

M. Abadie indique les conditions que doivent remplir, d'une façon générale, les lampes de cette catégorie.

Il insiste notamment sur la nécessité d'utiliser un alliage dont le volume reste constant et rappelle que la conductibilité du gaz dépend essentiellement de sa pression.

M. Abadie signale qu'il a cherché à réduire la tension de fonctionnement des tubes au néon par l'emploi de métaux ou de métalloïdes donnant une faible chute de tension cathodique. Dans ce cas, les conditions de fonctionnement sont comparables à celles de la lampe à vapeur de mercure.

Ses essais ont porté :

— sur l'antimoine et l'arsenic qui donnent une chute de tension cathodique de 8 à 10 V ;

— sur le cadmium et le bismuth, dont l'alliage eutectique, qui a donné le meilleur résultat, correspond à une chute de tension cathodique de 10 à 12 V.

Il met ensuite en relief les principales difficultés auxquelles on se heurte dans la fabrication de ces lampes : il faut limiter le plus possible le transport de métal dans le corps de l'ampoule ; on y parvient notamment en donnant à la cathode une forme spéciale.

Il est indispensable, avant scellement définitif de l'ampoule, de la débarrasser, dans toute la mesure du possible, des impuretés et des gaz occlus.

M. Abadie fait mettre en fonctionnement plusieurs tubes de caractéristiques différentes, et notamment :

une lampe à cathode d'antimoine fonctionnant sur courant continu à la tension de 85 V avec un débit de 3,8 A ;

une lampe cadmium-fer avec atmosphère d'argon fonctionnant sur courant continu à la tension de 60 V avec un débit de 7,5 A.

Certaines lampes réalisées par M. Abadie, fonctionnant sur courant continu 220 V, donneraient un flux lumineux de l'ordre de 10 000 lumens avec un rendement de 15 lumens par watt.

D'autre part, une lampe extrêmement concentrée, obtenue en enroulant des tubes de sibor, permettrait d'obtenir une très grande intensité lumineuse sous un faible volume.

M. Abadie signale, en outre, que ses lampes ont l'avantage, sur les lampes américaines à filament, d'avoir, d'une part, une chute de tension sensiblement plus faible, et, d'autre part, de permettre d'utiliser une longueur de tube plus grande et un appareillage plus simple, résultant de la suppression des circuits de chauffage.

Il cite qu'il a réalisé une lampe ayant un diamètre de tube de 40 mm et une longueur de 4 à 5 m, fonctionnant sur courant continu de 110 V, ainsi qu'une autre lampe au néon, d'une longueur de 1,28 m fonctionnant sous 140 V.

Il montre, au repos, une lampe destinée à fonctionner sur courant alternatif, et comprenant 2 cathodes aux extrémités, et une anode auxiliaire en fer dans la partie médiane de l'ampoule.

Il présente, enfin, un portant qui, par la combinaison judicieuse de lampes à vapeur de mercure et au néon, permet d'obtenir une lumière parfaitement diffusée pouvant être employée pour la prise de vues sur film panchromatique.

Séance du 4 Novembre 1930. — *Remarques sur l'éclairage public en banlieue*, par M. Marsat.

M. Marsat signale l'éclairage défectueux de certaines grandes voies de la banlieue sud de Paris et notamment de la route de Bourg-la Reine à Antony. L'éclairage axial, tel qu'il est assuré actuellement par les appareils distants de 100 m, et placé à 5 m de hauteur, donne des contrastes violents sur la chaussée aux points situés à égale distance des foyers, l'éclairement est inférieur à 0,01 lux, alors qu'il y a une tache très brillante sous chaque appareil. De plus, ces appareils sont éblouissants. L'éclairage antérieur, réalisé avec des lampes nues, donnait un éclairement mieux réparti. M. Marsat souligne le grave danger que présente un tel éclairage pour la circulation automobile.

M. Maticot ajoute que, très souvent, les secteurs dévoltent systématiquement les lampes, il en cite un qui emploie sous 112 V des lampes 135 V. Il fait remarquer l'importance du nettoyage des appareils d'éclairage qui est fréquemment perdue de vue; à Saint Etienne, où l'air est fortement chargé de poussières de charbon, les appareils Holophane, installés depuis 3 ans, n'ont pas encore été nettoyés.

MM. Cohu et Dourgnon sont d'accord pour que la Société de Perfectionnement de l'Eclairage, toutes les fois qu'elle en aura l'occasion, attire l'attention des secteurs sur l'importance de l'entretien des installations d'éclairage public (nettoyage périodique des appareils et des lampes et remplacement des lampes à la fin de la durée utile).

A la suite d'une critique de M. Cabet sur la façon dont sont placés certains dispositifs de signalisation lumineuse dans Paris, M. Maisonneuve signale un essai intéressant de plots lumineux effectué dernièrement à Londres.

Application des lois de l'Incandescence au calcul des filaments de lampes électriques, par M. Tranchecoste.

M. Tranchecoste essaie de rattacher aux théories scientifiques les connaissances empiriques utilisées dans la fabrication des lampes électriques à incandescence.

Il indique notamment les formules qui permettent de calculer la longueur et le diamètre du filament des lampes à filament rectiligne dans le vide.

Passant au calcul des lampes à filament boudiné dans le vide, il donne une théorie qui permet de rattacher le calcul de ces lampes à celui des lampes à fil rectiligne de température égale et en fonction des caractéristiques du boudinage.

Il termine par l'examen des lampes à fil boudiné dans une atmosphère gazeuse, et, après avoir énuméré les divers facteurs dont dépendent les pertes de chaleur par conductibilité et convection il donne une formule pratique permettant de calculer le filament de cette dernière catégorie de lampes.

Demande d'avis du Comité français de l'Eclairage et du Chauffage sur les valeurs minima d'éclairement adoptées dans les divers locaux.

La valeur de 1 lux, fixée pour les salles de cinéma pendant la projection, est trouvée beaucoup trop importante.

La Société pour le perfectionnement de l'Eclairage, signale que certains secteurs considèrent que les valeurs indiquées dans ce tableau sont trop fortes; par contre, d'autres, comme ceux de Strasbourg et Mulhouse, estiment qu'elles sont parfois insuffisantes.

Le tableau des valeurs minima d'éclairement proposées par le Comité Français de l'éclairage et du Chauffage est néanmoins jugé acceptable dans son ensemble.

L'Interprétation de l'action biologique des radiations (1), par M. HOLWECK.

Lorsqu'on expose des microorganismes à l'action des rayons X, on constate que certains sont tués sur le coup, que d'autres meurent après une division, d'ailleurs normale, et que d'autres continuent à se reproduire normalement. Ce phénomène peut s'expliquer par la théorie quantique.

Si l'on suppose qu'un seul quantum absorbé par un microbe suffise à le tuer, la loi qui représente le nombre des survivants en fonction de la dose est, d'après le calcul des probabilités, une exponentielle simple. Si, au contraire des microorganismes moins sensibles ne meurent qu'après avoir été touchés de plusieurs coups, la loi de mortalité en fonction de la dose est exprimée analytiquement par la suite exponentielle de Poisson.

Lorsqu'un quantum de rayons X mous est absorbé, il produit principalement un photoélectron qui le long de sa trajectoire sème des ions dans le corps du microorganisme. C'est le long de cette trajectoire que se produira l'action nocive, action qui s'étendra d'autant plus loin du point d'absorption que l'énergie du quantum sera plus grande.

Des expériences ont également été tentées sur les rayons ultra-violets de 3 000 Angstrom et sur les rayons alpha du P_o.

(1) Cette communication a été présentée en séance publique de la Société, le 7 février 1931.

OUVRAGES OFFERTS A LA SOCIÉTÉ

Production

Comment utiliser l'énergie électrique, par Louis Patrix, Ingénieur principal du Génie Rural. Édité par la compagnie d'Orléans, Paris 1, Place Valhubert, XIII, Publications agricoles de la Compagnie d'Orléans. Un volume broché 24 × 16 cm, 41 pages 18 figures, 1931. — *Don de l'auteur.*

Règles complémentaires d'unification concernant les machines électriques, par la Chambre Syndicale des Constructeurs de Gros Matériel Electrique. Edité par la Chambre Syndicale des Constructeurs de Gros Matériel Electrique. Un volume relié 27 × 21 cm., 32 pages, 4 figures, 1926. — *Don de l'Editeur.*

Appareillage

Quecksilberdampf-Gleichrichtrer-Wirkungsweise Konstruktion und Schaltung, par Otto Gramisch Dr. Ing. Edité par R. Oldenbourg à Munich et à Berlin. Un volume 24 × 16, 190 pages, 172 figures, 1931. — *Don de l'Editeur.*

Recherches physiques

De la lumière aux Rayons X, par F. Holweck, chef des travaux de Physique à la Faculté des Sciences. Edité par les Presses Universitaires de France, 49, boulevard Saint-Michel, Paris, V^e^. Un volume cartonné 24 × 16 cm., 142 pages, 42 figures, 1 appendice 1927. — *Don des Editeurs*

Kulturtechnische Bodenuntersuchungen mit besonderer Berücksichtigung der Strangentfernung, von Lauri Keso. Edité à Helsinki, 1930. Un volume broché 24 × 16 cm., 54 pages, 1930. — *Don de l'auteur.*

La Diffusion moléculaire de la Lumière, par Jean Cabannes, avec la collaboration de M. Yves Rocard. Edité par les Presses Universitaires de France, 49, Boulevard Saint-Michel, Paris, V^e^. Un volume cartonné 24 × 16 cm., 326 pages, 1930. — *Don des Editeurs.*

La investigation de las tensiones elasticas mediante la luz polarizada, thèse de doctorat par Raul Bunge. Edité par l'imprenta de la Universidad de Buenos-Aires. Un volume broché de 26 × 16 cm., 197 pages, 133 figures, 1 appendice, 1929. — *Don de l'auteur.*

Le premier principe : rien n'est arbitraire. La mécanique fondée sur une théorie des chocs durs, par Zareh Nubar. Edité par la librairie scientifique Albert Blanchard, 3 place de la Sorbonne à Paris. Un volume broché 25 × 16 cm., 404 pages, 1930. — *Don de l'Editeur.*

Les Applications des Rayons X. Physique, Chimie, Métallurgie, par J.-J. Trillat, Docteur ès Sciences. Edité par les Presses Universitaires de France, 49, Boulevard Saint-Michel, Paris, V^e^. Un volume cartonné 14 × 16 cm., 298 pages, 108 figures, 1930. — *Don des Editeurs*

Les Rayons X. Théorie et Applications, par Jean Thibaud, Docteur ès Sciences. Edité par Armand Colin, 103, Boulevard Saint-Michel, Paris. Un volume broché 17 × 11 cm., 218 pages, 77 figures, 1930. — *Don de l'Editeur.*

Probabilités et Statistiques, par R. de Montessus de Ballore, Docteur ès Sciences préface de M. Alliaume, professeur à l'Université de Louvain. Edité par Hermann, 6, rue de la Sorbonne, Paris. Un volume broché 25 × 16 cm., 210 pages, 1930. Prix : 60 francs.

Profils d'aviation à Centre de poussée fixe. Thèse de doctorat par Stephan Neumark. Edité par l'Institut aérodynamique de Varsovie. Un volume broché de 30 × 21 cm., 69 pages, 17 figures, 8 tables, 1930. — *Don de l'auteur.*

Congrès, Annuaires Commémorations

Annuaire 1931 de la Société des Anciens Elèves des Ecoles Nationales d'Arts et Métiers. Edité par la Société, 9 *bis*, avenue d'Iéna, Paris, XVIe. Un volume broché 21 × 13 cm., 1112 pages, 1931. — *Don de la Société.*

Annuaire de l'Industrie française Radio-Electrique. Edition officielle du Syndicat professionnel des Industries Radio-Electriques. Editions, Lajeunesse, 14, rue Brunel, Paris. Un volume 27 × 17 cm., 1107 pages, 1931. — *Don du Syndicat.*

Commemoration de Zenobie Gramme. Discours prononcés en la Salle Académique de l'Université de Liége, 5 octobre 1930. — *Don de M. Janet.*

Congrès du Havre du 25 juillet 1929 de l'Association française pour l'avancement des Sciences. 53e session, Compte rendu Edité par Masson et Cie, 120, boulevard Saint-Germain, VIe. Un volume 23 × 15 cm., de 755 pages, 1929. — *Don de l'Editeur.*

Deuxième Conférence Mondiale de l'Energie. Berlin, 16-25 juin 1930. Rapports généraux. Edité par le V.D.I., Verlag G.M.B.H. Berlin N.W. 7. Un volume cartonné 23 × 15 cm., 279 pages, 1930. — *Don des Editeurs.*

Faculté technique yougo-slave de l'Université royale yougo-slave de Zagreb. Mémoire du Conseil de la faculté. Réimpression d'extraits du rapport annuel de l'Université de Zagreb 1924-25 1928-29. Un volume 28 × 20 cm., 1193 pages, 11 figures 1919-1929. — *Don de l'Université.*

Goldene Jubiläum des Elektrotechnischen Vereins. Edité à Berlin par la Société. Un volume broché 30 × 21 cm., 63 pages avec photographies, 1930. — *Don de la Société.*

Les Statistiques Quantiques et leurs Applications, par Léon Brillouin, professeur à la Sorbonne. Edité par les Presses Universitaire de France, 49, Boulevard Saint-Michel, Paris, Ve. 2 volumes cartonnés 24 × 16 cm., 92 pages, 21 figures, 1930. — *Don des Editeurs.*

Statistique de la Production et de la Distribution de l'Energie Electrique au 1er janvier 1929. Edité par le Ministère des Travaux Publics, Service des forces hydrauliques et des distributions d'énergie électrique, Imprimerie Nationale. Une brochure 21 × 13 cm., 91 pages, 1930. — *Don de l'Editeur.*

Formulaires. — Manuels

Agenda Beranger 1931 Edité par la librairie polytechnique Ch. Béranger, 15 rue des Saint-Pères, Paris. Un volume cartonné de 14 × 9 cm., 348 pages, 22 figures, 1931. — *Don des Editeurs.*

Handbuch Der Experimental Physik. Hydro und aéro dynamik. 1 Teil. Strömungslehre und allgemeine Versuchstechnik — Par Ludwig Schiller, de Leipzig. Edité par Akademische Verlagsgesellschaft. Leipzig. Un volume relié de 24 × 17 cm. 730 pages, 431 figures, 1931. — *Fondation Loutreuil.*

Handbuch der Expérimental Physik : 1° Elektrische Beleuchtung, von H. SCHERING. Un volume 24 × 17 cm., 246 pages, 166 figures ; 2° Schwachstromtechnik, von KUPFMULLER. Un volume 24 × 17 cm., 240 pages, 231 figures. Les deux volumes édités ensemble par l'Akademische Verlagsgesellschaft, M.B.H. Leipzig, 1931. — *Achat sur le don Loutreuil.*

Manuali Hoepli. Techınca Degli Impianti Elettrici Per Luce E. Forza. Edité par U. Hoepli della Réal Casa, Milan. 1° Richiami, Formole, Tabelle, Misure, Machine, etc.. Un volume 15 × 10, 691 pages, 321 figurs. 2° Transmissione et Distribuzione, Centrali, etc. Un volume 15 × 10, 549 pages, 285 figures, 1929 — *Don de l'Editeur.*

Précis de Propriété Industrielle. Brevets d'invention, Dessins et Modèles, Marques de Fabrique, par G. Bouzu. Edité 8, boulevard Saint-Martin, Paris, X^e^. Un volume broché 24 × 15 cm , 30 pages, 1930. — *Don de l'Auteur.*

Principles of electric Power Transmission, par W. WADDICOR. Edité par Chapman et Hall's, 11, Henrietta Street-Covent-Garden London W.C.2. Un volume 21 × 13 cm., 419 pages, 155 figures, 1930. Prix : 21 sh. — *Don de l'Editeur.*

Year Book of the American Institute of electrical Engineers 1930. Edité par la Société, 23 West Thirty ninth Street, New-York. Un volume 23 × 15 cm., 601 pages, 1930. — *Don de la Société.*

ENSEIGNEMENT

Applications du Calcul Differentiel et Intégral, par D. LEIB. Edité par la librairie scientifique Albert Blanchard, 3, place de la Sorbonne, Paris, prix : 48 francs. — *Don de l'Editeur.*

Le Conservatoire National des Arts et Métiers. Programmes. Edité par la librairie Vuibert, 63 boulevard Saint-Germain à Paris. Un volume 25 × 16 cm., 214 pages. Photographies, 1931. — *Don de l'Editeur.*

Leçons sur le Calcul Vectoriel, par T.-A. RAMOS. Un volume 26×16 cm., 119 pages. Edité par la librairie scientifique Albert Blanchard, 3, place de la Sorbonne, Paris, 1930, prix : 25 francs. — *Don de l'Editeur.*

BIBLIOGRAPHIE DES OUVRAGES OFFERTS

Production

Comment utiliser l'énergie électrique à la campagne, conférence faite à Toulouse le 7 décembre 1930, par Louis Patrix, Ingénieur principal du Génie Rural. Professeur à l'école supérieure du Génie Rural. Un volume de 24 × 16 cm. de 41 pages, 18 figures, 193, Edité par les Publications Agricoles de la Compagnie d'Orléans, 1, place Falhubert, à Paris, 13e. — *Don de l'éditeur.*

La conférence publiée dans cette brochure a été faite sous les auspices du Président de la Chambre du Commerce de Toulouse et des Services de Propagande de la Compagnie du Chemin de fer de Paris à Orléans.

Appuyée de quelques données numériques simples, précisant bien la nature du problème, elle montre très clairement comment doit être réalisé l'éclairage électrique à la campagne et comment peut y être utilisée l'énergie électrique, comme force motrice rurale (différents types de moteurs, commande des appareils, choix de la puissance, emplois de moteurs fixes ou mobiles, battage et autres travaux d'intérieur, travaux d'extérieur, tels que labourage, industries familiales) et comme moyen de chauffage.

La Géographie Electrique de la France. (Atlas des cartes départementales des lignes et centrales électriques de la France). — *Don de l'auteur.*

M. Tribot-Laspière, Secrétaire Général du Syndicat des Entrepreneurs des Réseaux et des Centrales Electriques, a bien voulu offrir gracieusement à notre bibliothèque l'atlas des cartes départementales des lignes et centrales électriques de la France édité par ce Syndicat.

Nous trouvons dans une communication faite par l'auteur le 25 janvier 1930 à la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale (Bulletin de la S.E I.N. de mars 1930) les détails ci-après sur cette publication.

Une carte détaillée des lignes électriques de France était, depuis longtemps, réclamée afin de permettre d'étudier l'électrification d'une région déterminée, de suivre les progrès de l'électrification, de connaitre, notamment en vue d'une mobilisation industrielle, la répartition territoriale des sources d'énergie, ainsi que les zones où les aviateurs peuvent atterrir loin des lignes de transport, enfin de se rendre compte des débouchés que chaque région peut présenter pour le marché du matériel électrique. Le Syndicat a réussi à obtenir, des administrations, des communes, des Sociétés industrielles, des propriétaires d'usines isolées, les innombrables renseignements nécessaires pour pouvoir tenir aisément à jour ces cartes reflétant une réalité en perpétuelle évolution.

Le Syndicat a adopté le procédé suivant qui permet de renouveler au bout de quelques mois et à un prix admissible, le tirage ne portant chaque fois que sur une centaine d'exemplaires

Les cartes sont dessinées, non sur zinc ou sur pierre, mais sur papier calque et sont reproduites en noir sur blanc, par le procédé Dorel.

Le papier, de belle qualité, peut recevoir des inscriptions à l'encre, au crayon, en couleurs et supporte les grattages. L'échelle usuelle est le $\frac{1}{400.000}$ mais les départements très chargés sont établis au $\frac{1}{200\,000}$. Les cartes ne contiennent que des renseignements d'ordre électrique : emplacement des seules communes électrifiées, des usines électriques avec indication de leur puissance ou de leur nature, des principaux postes de coupure ou de transformation, tracé des lignes avec indication de la nature de la tension et de la fréquence du courant ; pour ne pas nuire à leur clarté, aucun détail géographique n'y est reporté. Des répertoires annexes, polycopiés et

vendus avec ou sans la carte, au gré du souscripteur, indiquent la nature et la tension du courant distribué dans les communes, ainsi que le nom des distributeurs et fournisseurs de courant...

Les chiffres suivants permettront d'apprécier l'utilité de ces documents; alors qu'il existe en France environ 2 000 secteurs de distribution et plus de 1 800 centrales, les documents les plus complets jusqu'à ce jour n'indiquaient qu'environ 500 secteurs et 400 centrales.

Nous pensons donc rendre un grand service à nos lecteurs en leur signalant la publication de cet atlas et des répertoires annexes.

Le prix de chaque département varie de 10 à 20 francs, et le prix de chaque répertoire de 6 à 10 francs.

Eclairage

L'Eclairage des Intérieurs Une brochure de 21 × 14 cm., de 120 pages, 98 figures, brochure n° 7, Edition 1931, Edité par la Société pour le Perfectionnement de l'Eclairage, 134, boulevard Haussmann, Paris. — (*Don de l'éditeur*).

Cette brochure, après un rappel des conditions de production et d'utilisation de la lumière électrique, résume les qualités essentielles d'un bon éclairage et définit les types fondamentaux des appareils d'éclairage. Elle montre ensuite comment on peut réaliser l'éclairage des diverses pièces d'une habitation, et donne des indications intéressantes sur l'éclairage décoratif et les dispositifs architecturaux. Elle se termine sur quelques renseignements relatifs à l'entretien des installations et aux puissances à prévoir. Illustrée de schémas simples et de photographies très évocatrices, elle expose ainsi d'une façon très claire, les procédés actuels d'utilisation de la lumière électrique.

Télégraphie. — Téléphonie

Transmission Networks And Wave Filters, par T. E. Shea, M. S., Ingénieur des Laboratoires de la Bell Téléphone C. Un volume relié de 24 × 16 m, de 461 pages, 263 figures, 13 tableaux. 1930. Edité par Chapman and Hall, 11 Henrietta Street, Covent Garden, London W. C. 2. — Prix 21 s. net. — *Don des Editeurs*.

Cet ouvrage théorique et pratique expose les travaux effectués aux Laboratoires du Bell System, travaux qui ont abouti à l'établissement du matériel actuellement employé en Amérique.

Le point de départ a été les théories de Campbell, Lobel, Wagner, Johnson pour les filtres et Kennelly et Campbell pour les réseaux de transmission.

Le texte de ce volume a été établi à l'origine pour tenir les différents ingénieurs des Laboratoires du Bell System au courant des travaux de leurs camarades, et pour unifier la doctrine.

Cet ouvrage constitue un document précieux pour tous les ingénieurs s'occupant de téléphonie.

The Theory of Electrical Artificial Lines And Filters, par A.-C. Bartlett, B. A., Ingénieur au Service des Recherches de la General Electric Co., Ltd. Un volume relié de 14 × 22 cm, de 152 pages, 170 figures, l'index, 1930. Edité par Chapman and Hall, 11 Henrietta Street, Covent Garden, London W. C. 2. — Prix 13 s. 6 d. net — *Don des Editeurs*

Cet ouvrage donne une théorie complète des lignes artificielles.

Le chapitre I traite des sections en T et en II de ces lignes. Le chapitre II donne la théorie générale des réseaux successifs et décrit les types les plus usuels de lignes artificielles.

Les autres chapitres décrivent les applications les plus usuelles, telles que les filtres et les amplificateurs à lampes à plusieurs étages.

Le lecteur qui n'a pas toujours à sa portée la volumineuse documentation qui a suivi les éminents travaux de Kenelly et Campbell, appréciera cet ouvrage qui résume et précise les connaissances actuelles sur la question.

Recherches

Concordance de l'arrangement quantique, de base, des électrons planétaires des atomes, avec la classification scalariforme, hélicoïdale, des éléments chimiques par Charles Janet, 1 brochure de 26 × 16,5 cm., de 54 pages, avec 6 planches 1930. Edité par l'Imprimerie Départementale de l'Oise, à Beauvais. — *Don des éditeurs.*

Cet ouvrage constitue le 6e fascicule d'une série de brochures traitant du problème de la genèse théorique des atomes et de la classification des éléments chimiques.

De la Lumière aux Rayons X, par F. Holurche, chef de travaux de Physique à la Faculté des Sciences. Un volume relié de 24 × 15 cm. de 140 pages, de 42 figures, 4 planches 1 appendice, 1927. Edité par la Librairie Scientifique Albert Blanchard, 3 *bis*, place de la Sorbonne, Paris (Ve).

L'auteur étudie les radiations comprises entre la limite du spectre visible (3600 A°), et les rayons X diffractés par les cristaux (12 A°). Il s'étend plus particulièrement sur les propriétés et la technique de la production des radiations comprises entre l'ultra-violet extrême (136 A°) et les rayons X au sujet desquels il a effectué d'importants travaux.

Dans le premier chapitre il résume les recherches expérimentales faites dans l'ultra violet; dans le chapitre II il indique les procédés d'étude des rayons X de grande longueur d'onde (rayons noirs) en insistant sur les difficultés que présentent ces travaux et sur les points communs de ces methodes avec celles utilisées dans l'étude de la zone intermédiaire récemment explorée.

Il aborde dans le Chapitre II l'étude de cette zone indiquant les procédés de production et de mesure des radiations comprises entre 12 et 136 A°, ainsi que les propriétés de ces radiations. Dans le chapitre IV sont traitées les propriétés optiques des rayons intermédiaires et dans le chapitre V la spectrométrie de ces rayons.

Ce livre précise très complètement l'état actuel des recherches concernant une partie jusqu'à présent peu connue du domaine des radiations électromagnétiques.

La diffusion moléculaire de la lumière, par Jean Cabannes avec la collaboration de M. Yves Rocard (Recueil des conférences, rapports de documentation sur la physique) volume 16 un volume relié de 15 × 23, 320 pages, 50 figures 1926 Edité par Les Presses Universitaires de France, 49 boulevard Saint-Michel Paris, Ve. — *Don des éditeurs.*

D'après le titre de l'ouvrage, celui-ci évoluerait dans l'ensemble du domaine des phénomènes qui caractérisent la propagation de la lumière dans les milieux matériels (réfraction, absorption, dispersion) En réalité cette étude est restreinte au champ moins vaste de la diffusion de la lumière ordinaire au sein des fluides purs transparent il s'agit là d'une science en formation et cet ouvrage a pour but de comdanner les efforts auxquels elle vient de donner lieu et de redresser certaines erreurs. Il marque une étape et constitue un point de départ par de nouveaux efforts. Toutes les questions traitées y sont approfondies au maximum permis par les conaissances actuelles en la matière.

La investigacion de la Tensiones Elasticas Mediante la biz polarizada, par Paul Brich, Ingeniero civil. Jefe titular de trabajos practicos de Estatica, gratificate interino de resistencio de materiales. Un volume de 26 × 17 cm., de 204 pages, 148 figures, 3 planches de photographies, 1929. Edité par Impenta de la Universidad de Buenos-Aires.

L'ouvrage de M. Paul Buich a été présenté par son auteur comme thèse de doctorat technique devant la Faculté des Sciences de Buenos-Ayres. Il a pour objet l'étude de la photo élasticimétrie, c'est-à-dire la détermination en utilisant les phénomènes de double réfraction accidentelle du verre, des tensions élastiques qui se développent à l'intérieur d'un solide en verre, soumis à des efforts donnés, qui peut être assimilé au solide d'un problème déterminé de la résistance des matériaux. L'auteur se réfère, en particulier, aux intéressants travaux qui ont été publiés en France sur

cette question par M. A. Mesnager. L'exposé de M. Paul Buich est clair et ordonné, l'ouvrage et du niveau de l'enseignement de nos Facultés des Sciences. L'auteur fait d'ailleurs précéder l'étude proprement dite de la photo élasticité par un exposé des notions générales d'optique nécessaires à sa compréhension. L'ouvrage est complété par un exposé des méthodes expérimentales et accompagné de nombreuses figures et planches hors texte.

Congrès, Annuaires. Commémorations

Deuxième Conférence Mondiale de l'Energie, Berlin 1930. Un volume de 23 × 16 cm., de 279 pages. Edité par la Vdi-Verlag G. M. B. H., Berlin N. W. 7.

Ce volume rassemble les 34 rapports généraux présentés à la Conférence Mondiale de l'Energie qui s'est tenue à Berlin du 16 au 25 juin 1930. Chacun de ces rapports contient un résumé des différentes études présentées dans une même section, un exposé des tendances générales qui en découlent et enfin l'énumération des propositions à la discussion. Les sujets traités s'étendent à tous les domaines de l'énergie sous toutes ses formes et portent sur des questions économiques, juridiques, aussi bien que purement techniques. Nous citerons particulièrement les rapports sur l'accumulation de l'énergie, la construction des machines électriques, la transmission de l'énergie et la mise à la terre des circuits électriques envisagée au point de vue de la sécurité de personnes et des installations.

L'évolution et le développement des principales industries depuis cinquante ans (1880-1930). — Numéro spécial publié à l'occasion du Cinquantenaire du *Génie Civil.* Un volume in 4° jésus de 236 pages, avec de nombreuses illustrations. — En vente aux bureaux du Génie Civil, 5, rue Jules-Lefebvre. Paris (IX^e). — Prix : 25 francs. *Don du Génie Civil.*

Ce numéro exceptionnel, par son importance et par sa composition, a été édité par le Génie Civil pour célébrer le cinquantenaire de sa fondation. L'évolution de chacune des principales industries, pendant le demi-siècle qui vient de s'écouler, y est retracé par les spécialistes les plus éminents et les plus hautes personnalités de la science ou de l'industrie française

Nous ne pouvons donner ici une analyse, si courte soit-elle des 42 articles que comporte ce magnifique ouvrage, mais nous croyons utile de donner les titres et les noms des auteurs de ceux qui intéressent spécialement les Electriciens : MM. Blondel (A.) : Naissance et développement de la radioélectricité. — Coyne (A) : Les barrages : différents types et modes d'exécution. — Eydoux (E.) : Les usines hydroélectriques. — Gall (H.) : L'électrochimie et l'électrométallurgie de 1880 à 1930. — Genissieu (E). : L'évolution de l'utilisation des chutes d'eau. — Janet (P.) : La grande industrie électrique. — Laurain (H.) : Les progrès de l'éclairage. — Matignon (D.) : Les progrès de la grande industrie chimique depuis 1880. — Parodi (H.) : L'électrification des voie ferrées. — Reynaud-Bonin (E.) : Le télégraphe et le téléphone.

IL Y A TRENTE ANS

Réunion ordinaire mensuelle du 6 mars 1901

Présidence de M. E. Mascart.

Des 6 membres élus dans cette séance, nous comptons encore parmi nous M. Joly (Louis-Eugène).

M. R.-V. Picou fait une communication sur les *Services électriques de l'Exposition Universelle de 1900*.

M. R.-V. Picou retrace les grandes lignes de l'organisation des Services électriques de l'Exposition Universelle de 1900, qu'il réalisa si brillamment dans les conditions les plus difficiles avec le concours de MM. Grosselin et Lorin.

L'énergie électrique était produite par les 35 groupes électrogènes exposés, de 500 à 2400 CV chacun, formant une puissance totale de 36000 CV.

Un réseau de conducteurs extrêmement étendu comportant 75 km. de câbles diffusait cette énergie pour la commande des appareils exposés et pour l'éclairage.

Le courant continu avec 3 conducteurs sous 250 V et 500 V était réservé aux palais du Champ de Mars ; les parties éloignées de l'Exposition étaient desservies en courant alternatif sous 2000 V, 3000 V. 5000 V. Aux Invalides et aux Champs Elysées des postes de commutation convertissaient le courant alternatif en courant continu à 500 V.

La force motrice était distribuée à 677 moteurs d'une puissance totale de 5 555 kW.

L'éclairage public était assuré par 3300 lampes à arc et 39 000 lampes à incandescence dont l'alimentation simultanée exigeait une puissance de 3 700 kW.

L'éclairage privé était assuré par l'administration pour 2 000 kW. et par les Secteurs Rive-Gauche et Champs-Elysées pour 3300 kW.

L'éclairement des locaux était largement prévue pour l'époque et atteignait 150 lux dans le Salon d'honneur du Palais de l'Electricité.

M. le Président, à propos de la quantité de lumière disponible dans les différents espaces, signale l'influence de la nature des parois et rappelle que les murs blancs de la Salle des Fêtes augmentaient l'éclairement d'au moins 4 à 5 fois; ces remarques de M. E. Mascart constituent une remarquable anticipation vis-à-vis de la communication de M. Leblanc présentée à la VII[e] Semaine de Discussions le 24 novembre 1930.

BAR-LE-DUC. — IMP. COMTE-JACQUET · *Le gérant :* Alfred Magnier.

5e série, tome I, n° 4. Avril 1931

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE

DES

ÉLECTRICIENS

SOMMAIRE

(1) La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses Membres dans les discussions, ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

COMPTE RENDU DES RÉUNIONS

RÉUNION ORDINAIRE MENSUELLE

du Samedi 7 Mars 1931

Présidence de M. Chaumat.

La séance est ouverte à 16 h. 30.

Le procès-verbal de la précédente séance est adopté.

Il est donné connaissance des demandes d'admissions suivantes :

MM.

Bel (Henri), ingénieur I. E. G., chez M. Lorin, ingénieur-conseil, 46, rue de Londres, à Paris (8e). Domicile : 121, avenue de la République, à Montrouge (Seine). — Présenté par MM. Grosselin et Lorin.

Berruet (Henri), ingénieur A. et M., constructeur d'appareils de mesure et de réglage de température, pression, humidité, 7, avenue Jules-Ferry, à Lyon, Usine, 7, chemin Saint-Sidoine, à Lyon (Rhône). — Présenté par MM. Dumont et Rivière.

Bourgeois (Louis), éclairagiste, Compagnie des Lampes, agence Alsthom de Toulouse, stagiaire E. S. E. éclairage, 28, rue du Faubourg Saint-Etienne, à Toulouse (Haute-Garonne). — Présenté par MM. Juppont et Camichel.

Bret (Maurice), ingénieur au service commercial de la maison Muller et Cie, à Suresnes, 2 rue Eugène-Manuel, à Paris (16e). — Présenté par MM. Guilbert et Jouvion.

Broca (Louis), ingénieur des Arts et Manufactures, ingénieur à la Société anonyme des appareils centrifuges, brevets Sharples, 70, rue du Vieux-Port, à Rueil (Seine-et-Oise). Domicile : 28, rue d'Alsace, à Clichy (Seine). — Présenté par MM. Josse et Boulouvard.

Bruhat (Georges), professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris, 45, rue d'Ulm, à Paris (5e). — Présenté par MM. Janet et Abraham H.

Buat (Paul), ingénieur, chef de service à la Société des Transports en commun de la Région Parisienne, 53 *ter*, quai des Grands-Augustins, à Paris (6e). Domicile : 14, avenue Desgenettes, à Saint-Maur-des-Fossés (Seine). — Présenté par MM. Bacqueyrisse et Péridier.

Crussard (Pierre), administrateur-directeur de l'entreprise transport et distribution d'électricité, 23, rue Pasquin, à Paris. Domicile : 50, rue d'Auteuil, à Paris (16e). — Présenté par MM. Rousseau et Bredeau.

Dinescu (George), ingénieur diplômé de l'Institut électrotechnique de l'Université de Bucarest, assistant universitaire, ingénieur à la Société générale de gaz et d'électricité de Bucarest, 20, rue Barbu-Delavrancea, à Bucarest (Roumanie). — Présenté par MM. Provinceanu et Antoniu.

Di Pace (Vincent), ingénieur en chef des P. T. T., 54, rue des Volontaires, à Paris (15e). — Présenté par MM. H. Milon et G.-E. Petit.

Dubois (Georges), fabricant d'appareils de T. S. F., 211, boulevard Saint-Germain, à Paris (7e). — Présenté par MM. Ferry Paul et Laudet.

Flamant (Henri), électricien, 17, rue Etienne-Dolet, à Villeneuve-Saint-Georges (Seine-et-Oise). — Présenté par MM. Grosselin et Doizan.

Gantet (Pierre), directeur technique de « La construction radioélectrique », 18 à 22, chemin des Vignes, à Pantin (Seine), ingénieur I. E. G. Domicile : 1, rue du Souvenir, à Courbevoie (Seine). — Présenté par MM. Coignard et Benézech.

Guillet (Amédée), professeur, 158, rue Saint-Jacques, à Paris (5e). — Présenté par MM. Janet et Fabry.

Guy (Jean-Paul), ingénieur chef du service des grosses machines et stations centrales. Compagnie Electro-mécanique, 12, rue Portalis, à Paris. Domicile : 113, rue de Rennes, à Paris (6e). — Présenté par MM. Rousseau et Hacault.

Hermanns (Hubert), ingénieur-conseil, Dahlemer Strasse, 64a, à Berlin-Lichterfelde. — Présenté par MM. Pfaff et Walter.

Lafont (Henri), directeur de la Société de Lyon de la Société Eau et Assainissement, 43, rue Raoul-Servant. Domicile : 45, rue Juliette-Récamier, à Lyon (Rhône). — Présenté par MM. Dumont et Gaillard.

Lapine (Michel), chef des calculs alternateurs au « Matériel Electrique S. W. », à Champagne-sur-Seine (Seine-et-Marne). Domicile : 19, avenue Jean-Jaurès, à Moret-sur-Loing (Seine-et-Marne). — Présenté par MM. Ollier et Durand.

Latour (André), ingénieur I. E. G., 18, avenue Félix-Viallet, à Grenoble (Isère). — Présenté par M. Barbillion et Bergeon.

Lavison (Jean), industriel, 24, avenue de Tresserve, à Aix-les-Bains (Savoie). — Présenté par MM. Dumont et Rivière.

Lemarchand (Guy), ingénieur à la S. C. P. D. E., usine électrique à Jonzac (Charente-Inférieure). — Présenté par MM. Jacquet et Casson.

Musseau (André), directeur de l'agence du S.-O. des Etablissements Devilaine et Rougé, 33, rue du Temple, à Bordeaux. Domicile : 122, rue Bertrand-de-Goth, à Bordeaux (Gironde). — Présenté par MM. Wagner et Rousseau

Neumayer (Paul), ingénieur de l'École Polytechnique de Prague, ingénieur de la S. A. Siemens France, 12, rue Théophile-Gauthier, à Paris (16e). — Présenté par MM. Bunet et Meunier.

Pellissier (Pierre), Société d'éclairage à Aix-les-Bains, Aix-les-Bains (Savoie). — Présenté par MM. Rivière et Suler.

Peyron (Jean), chef de la section études et recherches à la Compagnie des Lampes, 29, rue de Lisbonne, à Paris. Domicile : 20, rue de Chartres, à Neuilly-sur-Seine (Seine). — Présenté par MM. Maisonneuve et Grandjean.

Prache (Pierre), administrateur-délégué à la Société des Téléphones Grammont. Domicile : 48, boulevard Soult, à Paris (12e). — Présenté par MM. Bellini et Petit G.-E.

Rapin (Paul), élève à l'E. S. E., licencié ès sciences physiques, ingénieur chimiste, 32, rue Montaigne, à Paris (5e). — Présenté par MM. Guilbert et Jumau.

Septier (Louis), administrateur Société des fonderies et aciéries d'Aiguebelle, à Aiguebelle (Savoie). — Présenté par MM. Dumont et Rivière.

Touraton (Emile), ingénieur à la Société « Le Matériel téléphonique », chemin de Mousseaux, Châteauroux (Indre). — Présenté par MM. Rabine et Boissé.

Turlin (Robert), chef du service de propagande, Société générale de force et de lumière, 37, rue Diderot, Grenoble (Isère). — Présenté par MM. Dumont et Rivière.

Sans opposition de la part des Membres présents, ces candidats sont élus membres titulaires de la Société.

M. le Président annonce la nomination dans l'ordre de la Légion d'Honneur :

Officier : M. GUTTON, Directeur du Laboratoire national de T. S. F.

Chevalier : M. FENOUILLET, Directeur de la Société d'Intérêt collectif agricole de Cambrai-Est.

M. le Président signale les dons faits à la Société des Amis d'André-Marie Ampère.

M. RUSSEL, Vice-Président de la Philadelphia Electric, a bien voulu nous envoyer des Etats-Unis, pour le Musée d'Ampère deux brochures dont l'une *Précis de la théorie des phénomènes électrodynamiques* par

Ampère — Paris 1824 — porte sur la couverture les mots « Précis Ampère » probablement de l'écriture de FARADAY.

La deuxième est intitulée « Théorie mathématique des phénomènes électrodynamiques » uniquement déduite de l'expérience, dans laquelle se trouvent réunis les Mémoires que M. AMPÈRE a communiqués à l'Académie royale des Sciences, dans les séances des 4 et 26 décembre 1820, 10 juin 1822; 22 décembre 1820 et 21 novembre 1825 — Paris 1826.

Il annonce également le don au Laboratoire central d'Electricité, par M. BLONDEL, d'un lot d'appareils électriques (de rhéostats, de diverses machines).

M. LEBOUCLEUX présente une communication sur *Le compte rendu des mesures faites à Skillingaryd (en Suède) pour la détermination du coefficient d'induction mutuelle entre deux lignes unifilaires à retour par la terre.*

M. le Président remercie le conférencier d'avoir apporté une documentation particulièrement précieuse dans un domaine où elle est si rare.

La séance est levée à 18 h. 30.

LA TRANSMISSION ÉLECTRIQUE A DISTANCE DES INDICATIONS DE MESURE ET EN PARTICULIER LA TOTALISATION A DISTANCE, ET LEUR IMPORTANCE POUR LES SYSTÈMES DE DISTRIBUTION ÉLECTRIQUE (1)

par V. Janicki,

Ingénieur à la Société Landis et Gyr S. A., à Zug (Suisse).

Du fait de la multiplication des grands réseaux électriques et de leurs interconnexions et en raison de la nécessité croissante d'avoir un contrôle centralisé et permanent des tensions, des puissances, des quantités d'énergie absorbées ou livrées, et de la fréquence, en divers points des réseaux interconnectés pour assurer dans les meilleures conditions la répartition des charges, la question de la transmission à distance des indications des appareils de mesure a donné lieu à de nombreux travaux, tant aux Etats-Unis qu'en Europe.

Après quelques indications générales sur les applications et sur la notion des mesures à distance, les limites de la transmission directe des indications de mesure et les exigences pratiques auxquelles les différentes méthodes télémétriques doivent répondre, l'auteur passe en revue les caractéristiques des principales méthodes préconisées et essayées ; il donne ensuite un aperçu des avantages et inconvénients des diverses méthodes télémétriques mentionnées, en faisant ressortir les grands avantages que présente le système à impulsions du fait qu'il se prête beaucoup mieux à la transmission par superposition des impulsions oscillantes de courant sur les lignes télégraphiques ou téléphoniques que les autres méthodes. Ensuite, l'auteur aborde la question des mesures de totalisation à distance et en indique les principaux domaines d'application, pour terminer par des conclusions générales d'ordre critique sur les différentes méthodes de télémétrie passées en revue.

I. — Introduction — Application de la télémétrie et les conditions auxquelles les méthodes de la mesure à distance doivent répondre.

Au fur et à mesure que l'importance des centrales électriques augmente, et que l'interconnexion des réseaux de transmission et de distribution fait des progrès considérables, les problèmes de la transmission à distance électrique se placent au premier plan de l'actualité

(1) Communication présentée en séance publique de la Société Française des Electriciens, le 10 janvier 1931.

auprès des chefs d'exploitation des grands réseaux électriques. Dans ce qui suit, nous nous proposons de donner d'abord un court exposé sur les mesures à distance, et de passer ensuite rapidement en revue les exigences et les conditions à imposer aux différentes méthodes et aux appareils de mesure.

Sous la dénomination de transmission à distance des indications de mesure, on entend la transmission et la reproduction, par un appareil récepteur éloigné, d'un déplacement entre deux limites définies, de l'équipage mobile de l'appareil de mesure. On englobe également sous cette dénomination la transmission concordante de mouvement de rotation utilisé pour les mesures.

La télémétrie, c'est-à-dire, la transmission des quantités mesurées à une certaine distance, ne présente pas par elle-même quelque chose d'absolument nouveau. Il y a beaucoup d'années qu'on a transmis des quantités électriques, telles que : tension, courant, puissance, fréquence, facteur de puissance et énergie, par exemple depuis des centrales électriques situées à la périphérie d'une ville, au bureau principal du chef d'exploitation au centre de la ville. Cependant, autrefois, du moins en ce qui concerne les transmissions des indications d'un niveau d'eau dans un réservoir, de la température dans les usines thermiques, etc., les exigences pratiques étaient limitées à des cas spéciaux et en général il ne s'agissait que de petites distances. Récemment, du fait de l'extension considérable des réseaux, des interconnexions, de l'exploitation centralisée, etc..., les exigences de la télémétrie et ses domaines d'application se sont remarquablement accrus, de nouveaux problèmes ont surgi pour les constructions des instruments de mesure.

Conséquences des conditions actuelles du fonctionnement des systèmes de production, transmission et distribution d'énergie électrique.

Il est intéressant d'examiner le résultat des modifications apportées par l'interconnexion et la multiplication des grands réseaux électriques. Le chef d'exploitation qui autrefois était capable de surveiller tout le système de son bureau ou du poste de commande, veut pouvoir exercer la même surveillance sur l'ensemble de la production des réseaux et sur la valeur des diverses sources électrogènes, pour être capable de répartir la charge totale entre elles d'une manière appropriée.

Dans le cas où une partie de l'énergie est acquise auprès d'une source électrogène étrangère, aux exigences d'ordre purement technique s'ajoute le besoin de surveiller à tout moment les quantités achetées.

II. — Conditions auxquelles doivent répondre les appareils de mesure à distance et les méthodes télémétriques.

Le lieu où doivent être installés les instruments indicateurs peut être choisi à volonté. En vue de rendre plus efficace le contrôle et la surveillance, on a réuni les appareils de mesure en un tableau central de surveillance et dernièrement même dans un local particulier, dit « salle de commande ». Et cette tendance à centraliser les mesures était plus accentuée et plus prononcée encore à l'époque où les tensions augmentaient considérablement et où les usines d'électricité gagnaient d'importance de jour en jour, et malgré toutes sortes de difficultés. Autrefois la nécessité s'imposait de conduire le courant du transformateur jusqu'au tableau de distribution, ce qui entraînait une mise de fonds considérable pour les fils conducteurs surtout dans les usines d'électricité de puissance élevée. A titre d'exemple : un wattmètre pour phases non uniformément chargées n'exige pas moins de 7 fils de connexions. Déjà la question se pose d'examiner s'il ne peut pas être plus économique d'introduire un procédé de transmission spécial établi de telle façon que les lignes à grande distance soient réduites au minimum. Le dit procédé de mesurer sur les lieux mêmes, mais de transmettre le résultat de la dite mesure à une distance plus ou moins longue sera appelé « mesure à distance » par opposition à « l'indication à distance » qui consiste à transmettre simplement à distance le courant de mesure. Cette mesure à distance a pris une importance considérable.

Les conditions de réalisation des méthodes télémétriques peuvent être divisées en deux groupes :

1° Conditions économiques : les frais d'installation (capital investi).

2° Conditions techniques :

a) Lignes de transmission (fils pilotes) ;

b) Précision des mesures ;

c) Capacité de totalisation des mesures ;

d) Indications de mesure désirées.

Les sommes à dépenser par les Compagnies pour l'installation des dispositifs télémétriques et pour la satisfaction des désirs des exploi-

tants dépend naturellement dans une grande mesure des économies qui peuvent être réalisées par l'installation des instruments de mesure à grande distance. Le coût de l'installation télémétrique consiste principalement dans la dépense d'acquisition et de montage des lignes de transmission nécessaires (fils pilotes), tandis que les dépenses pour les appareils et les instruments nécessaires ne constituent en général qu'une petite fraction des dépenses totales. Pour cette raison, les désirs des chefs d'exploitation peuvent être satisfaits assez facilement dans le cas des réseaux de distribution municipale, où il s'agit, d'une part de distances de transmission relativement petites, ce qui implique par conséquent des frais d'installation comparativement minimes, et d'autre part des valeurs considérables d'énergie électrique mise en jeu, d'où un haut rendement économique du dispositif télémétrique. Par contre, jusqu'à ces derniers temps le montant de capital investi dans le dispositif de mesure à grande distance pour les systèmes de distribution électrique à grande quantité d'énergie transmise était trop élevé — par suite de la longueur des distances de transmission — pour que les méthodes télémétriques pussent être adoptées dans une grande mesure, en dépit du besoin qui s'en faisait sentir. A présent, le développement des problèmes télémétriques et de ses solutions progresse rapidement et les efforts des divers constructeurs d'instruments de mesure se dirige avant tout vers la recherche des meilleurs moyens de réduire les frais de transmission; c'est que, jusqu'à présent, c'étaient seulement des fils pilotes spéciaux qui pouvaient être utilisés dans la plupart des cas, pour les systèmes télémétriques à grande distance.

a) *Lignes de transmission (fils pilotes).*

En choisissant les moyens de transmission pour des buts télémétriques, il faut se rappeler que les compagnies de distribution utilisent déjà un système de communication plus ou moins étendu et bien équipé pour le service téléphonique officiel qui est leur propriété. Dans la règle, ce système contient des conducteurs de différents genres, par exemple des lignes aériennes et des câbles, des lignes téléphoniques et les dispositifs de transmission radio-télégraphique à haute fréquence.

Pour réaliser les dispositifs télémétriques à un prix raisonnable, ces lignes téléphoniques doivent être utilisées simultanément (exploitation simultanée) sans provoquer aucun conflit avec le service télépho-

nique déjà existant. En aucun cas, le service téléphonique ne doit être influencé ou dérangé par les méthodes télémétriques. Les mesures à grande distance devraient aussi pouvoir être effectuées à l'aide de différents genres de lignes téléphoniques et de la même manière que le service téléphonique, par l'interconnexion de différentes lignes dirigées, par exemple, au moyen de connexions en série de la téléphonie et télégraphie par fil et sans fil à haute fréquence le long des lignes de transmission à haute tension.

Finalement, il faut faire ressortir qu'une grande quantité des lignes téléphoniques aériennes de longueur considérable, ainsi qu'un pourcentage considérable des câbles téléphoniques à longue distance sont subdivisés à intervalles réguliers par des petits transformateurs appelés « translateurs » assurant une meilleure audition sur la ligne. Dans certaines circonstances de tels transformateurs sont disposés à des distances de 26-35 ou 40 km; par conséquent les méthodes télémétriques doivent être adaptées dans la mesure du possible aux conditions existantes de fonctionnement et d'exploitation, si l'on désire maintenir les frais d'installation dans des limites tolérables.

Vu que, dans beaucoup de cas, les lignes de communication téléphoniques et télégraphiques, sont installées ou montées sur des poteaux appartenant à l'administration des P. T. T., il faut faire attention à ce que le courant de mesure nécessaire pour la transmission télémétrique n'ait aucune influence perturbatrice ou nuisible sur les lignes téléphoniques de l'administration. Si la méthode télémétrique est basée sur la transmission des impulsions individuelles du courant, comme c'est, par exemple, le cas dans le dispositif de totalisation de la maison Landis et Gyr, il faut avoir la garantie absolue que ces impulsions de courant n'excitent ou ne déclenchent pas les appareils sélecteurs des postes automatiques de téléphones, placés le long des lignes téléphoniques ou dans les câbles souterrains. Au surplus, les appels sur les lignes téléphoniques ne doivent pas être dérangés ou influencés et par contre, ne doivent avoir aucune influence sur les mesures télémétriques.

D'autres exigences, auxquelles doivent répondre les méthodes télémétriques, sont :

Sécurité de service, indépendance des fluctuations de charge, totalisation des valeurs individuelles de mesure transmises, et certaines limites de précision.

b) *Précision de mesure.*

Les exigences à imposer en télémétrie au sujet de la précision des mesures ne sont pas très élevées, vu que les valeurs transmises ne sont pas utilisées en premier lieu pour le comptage de l'énergie mise en jeu. En général, une erreur additionnelle de ± 2 à ± 3 pour cent peut être admise pour les erreurs ordinaires et usuelles des instruments de mesure. Dans la plupart des cas, une précision totale de ± 3 pour cent peut être considérée comme tout à fait satisfaisante. Dans le cas de mesure de tension ou de fréquence, cette valeur doit être réduite à ± 0,5 pour cent jusqu'à ± 1 pour cent de la valeur nominale au maximum. En tous cas cette erreur ne doit pas, cependant, être modifiée de plus de ± 2 ou ± 3 pour cent par suite de variations de températures ou d'influences d'ordre extérieur auxquelles les fils pilotes doivent être soumis (influences atmosphériques ou effets climatériques).

c) *Capacité de totalisation.*

Disons tout de suite que la totalisation des mesures est d'une importance toute particulière. Déjà, dans une usine d'électricité indépendante, il est très souvent désirable de faire indiquer la somme des débits de puissance ou de l'énergie, à l'aide d'un unique instrument de mesure. Autrefois l'on utilisait à cet effet des instruments munis de plusieurs systèmes présentant l'inconvénient d'être d'un prix très élevé. La totalisation de toutes les mesures à distance peut se faire en utilisant des montages spéciaux. Ce facteur doit être pris en considération quand la question économique se pose pour l'application d'un système de mesures à distance, dans le domaine d'une usine d'électricité. Dans ce cas l'avantage se présente de pouvoir totaliser plusieurs fois avec des instruments de mesure normaux. On fait l'addition partielle des débits dans chacune des stations de distribution mesurés à distance pour totaliser ensuite ces sommes partielles. En effet, dans un réseau très étendu, les mesures partielles sont d'importance considérable pour les stations de distribution, tandis que les sommes des mesures partielles son transmises à la centrale. Cette dernière va faire en partie ou en totalité la somme de ces sommes. Il en résulte que la *simplicité de totalisation des sommes doit être prise en considération, quand il s'agit de choisir un système de mesure à distance.* L'exigence de la totalisation se présente en particulier dans tous les cas où il s'agit de la mise en compte des puissances acquises auprès d'autres secteurs.

d) Indications désirées.

Finalement, nous poserons la question suivante : quelles indications de mesure doivent être considérées comme présentant un intérêt tout spécial pour le chef d'exploitation centrale, quelles sont celles d'une importance particulière pour le surveillant en chef du réseau et qui, pour cette raison doivent être transmises. Les besoins de la télémétrie doivent être recherchés, d'une part dans le domaine du fonctionnement technique et, d'autre part, dans le domaine de l'exploitation économique.

Le chef d'exploitation technique désire savoir :

1° L'indication des puissances à savoir la puissance active en kilowatts, la puissance apparente en kilovoltampères et la puissance réactive en sin kVA ou kVA réactifs (Kilovars).

2° L'indication du courant et de la tension, du facteur de puissance cos φ, de la fréquence, etc.

Pour l'exploitation économique, les indications suivantes doivent être prises en considération :

1° Indications de la puissance.

2° Quantités d'énergie.

III. — Table synoptique des exigences a imposer a un système télémétrique.

Les conditions auxquelles doivent répondre les systèmes télémétriques peuvent être résumées comme suit :

1° La transmission doit pouvoir utiliser :

a) les lignes de signalisation, lignes aériennes ou câbles de téléphonie ou de télégraphie, même dans le cas où elles sont subdivisées par de petits transformateurs ;

b) les lignes aériennes sur poteaux des lignes à haute tension ;

c) les lignes aériennes de l'administration des postes, téléphones et télégraphes ;

d) les fils pilotes dans les câbles à courants forts, etc.

e) une combinaison des lignes énumérées sous *a*, *b*, *c*, tout en répondant aux règles et prescriptions établies par l'administration des postes, téléphones et télégraphes.

2° Pendant la transmission, le fonctionnement simultané de l'exploitation téléphonique doit aussi pouvoir être assuré sur la même ligne. Le service téléphonique ne doit être dérangé ou influencé et ne doit pas influencer à son tour la télémétrie.

3° La totalisation des indications des différentes lignes transmises à un poste central doit être possible.

4° Les méthodes de transmission doivent être adaptées, en premier lieu, aux indications de puissance, en second lieu à la mesure du courant, de la tension, du facteur de puissance de la fréquence et de l'énergie.

5° L'erreur additionnelle sur la précision des mesures à grande distance ne doit pas excéder 3 pour cent, même dans le cas de grandes variations de température et des effets atmosphériques.

6° Des méthodes télémétriques répondant aux exigences énumérées ci-dessus et permettant, en surplus, la transmission de différentes indications à l'aide de la même ligne auront toujours la préférence sur les autres méthodes.

IV. — Méthodes télémétriques. — Remarques générales.

Après avoir passé en revue les exigences générales à imposer aux méthodes télémétriques, nous nous demanderons : à quelle distance commence la télémétrie proprement dite ?

La meilleure réponse est la suivante : la télémétrie commence partout où des méthodes spéciales doivent être envisagées et où les méthodes ordinaires ne suffisent plus. Dans le cas du courant continu, le télémétrage commence à une distance beaucoup plus grande que dans le cas du courant alternatif. Pour transmettre, par exemple, des indications à courant continu, il suffit de faire fonctionner l'appareil de mesure à distance, par exemple, sous une chute de tension d'environ 100 mV pour une résistance totale de 20 000 ohms, si la moitié de cette résistance est allouée aux fils pilotes de télémétrie, utilisant un câble téléphonique double de 100 km de long.

Pour courant alternatif nous ne disposons pas d'instruments de mesure d'une aussi grande sensibilité que pour le courant continu. Pour cette raison, des méthodes spéciales doivent être prévues pour les distances supérieures à 5 km. Il ne suffit pas d'utiliser les conducteurs d'une longueur considérable ou de prévoir l'enroulement secondaire des transformateurs d'intensité de courant seulement pour 1 A ou même pour 0,5 A au lieu de 5 A. Dans la règle, le télémétrage commence à des distances de 10, 20 ou 30 km. Il dépend largement des variations de la résistance d'une ligne de transmission ou du fil pilote en fonction de la température, et des variations de sa résistance d'isolement, en fonction des effets atmosphériques. En plus, il dépend naturellement de la tension mise en jeu.

La distance à laquelle la tension continue E peut être mesurée au moyen d'une ligne aérienne d'une section donnée sera déterminée par la consommation de courant I des instruments de mesure d'une part, et d'autre part, par le fait que la variation de la résistance ΔR du fil pilote ne doit pas être trop grande par rapport à la résistance totale $R = E/I$ de l'instrument de mesure et des lignes de connexion, par suite des variations de température.

Exemple : Pour $I = 1$ mA, $\Delta R = 0{,}005$ R (0,5 pour cent), $\Delta T = 15°C$ et des câbles téléphoniques de 50 km de long, correspondant à une résistance ohmique d'environ 4 000 ohms, dans les deux directions, et en considérant un câble à deux conducteurs, nous trouvons :

$$\Delta R = 15 \times 0{,}004 \times 4\,000 = 240 \text{ ohms},$$

$$R = 240 \text{ ohms} : 0{,}005 = 48\,000 \text{ ohms},$$

et $$E = 0{,}001 \text{ A} \times 48\,000 \text{ ohms} = 48 \text{ volts}.$$

La seconde question au sujet de télémétrage se réfère au rendement économique de la transmission à grande distance qui a déjà été effleurée plus haut brièvement. Les dépenses pour les fils pilotes constituent un facteur décisif dans le cas de télémétrage, en particulier quand il est nécessaire de poser des câbles spéciaux ou d'installer des lignes aériennes spéciales. Le capital investi est réduit à un minimum, si on dispose d'un câble téléphonique à plusieurs conducteurs dont deux ou plusieurs conducteurs [âmes] peuvent être utilisés pour le télémétrage. En tout cas, un câble d'une section supérieure à 0,5 ou 1 mm² au maximum ne peut être utilisé dans une installation moderne de télémétrage. Dans la règle les lignes téléphoniques à grande distance déjà existantes et utilisées sont très facilement adaptées à l'usage télémétrique par superposition. Dans des installations à très haute tension, la tendance à utiliser des lignes de transmission à haute fréquence ayant des conducteurs appropriés pour la transmission télémétrique. S'il y a plusieurs indications à transmettre, il ne faudrait utiliser qu'une ligne à deux conducteurs, vu que, dans tous les autres cas, l'installation devient trop dispendieuse.

V. — Aperçu des différentes méthodes télémétriques étudiées jusqu'à présent.

Depuis plusieurs années, de nombreux systèmes de transmission électrique à distance des indications de mesures sont connus et employés aux Etats-Unis et en Europe, ainsi que le montrent les rapports

annuels du Comité des Instruments et des Mesures de l'Institut Américain des Ingénieurs-Electriciens et les nombreuses publications parues au cours de ces dernières années dans la presse technique américaine et européenne.

D'après la *classification établie dans la littérature allemande et américaine*, on peut distinguer 5 groupes principaux, dont chacun peut être subdivisé en un certain nombre de sous-groupes. Les 5 groupes principaux peuvent être caractérisés comme suit :

1° Transmission à l'aide de courant auxiliaire (transformation de la grandeur à mesurer en courant continu au moyen d'une source de courant auxiliaire, batterie auxiliaire ou système potentiométrique).

2° Transmission à l'aide d'une fréquence auxiliaire (système à variation de fréquence).

3° Système à induction.

4° Transformation automatique des grandeurs à mesurer en courant continu avant d'être transmises [compteur de puissance, dynamo à courant continu (système téléwatt)] sans utilisation de sources de courant auxiliaire.

5° Système à impulsion (transformation des quantités à mesurer en impulsions de courant, continues ou oscillantes).

La plus grande importance doit être assignée, d'après ce qui suit, aux 2 derniers groupes de méthodes qui probablement — au cours de développement — maintiendront seuls leur position et entreront en concurrence l'un avec l'autre.

1. — *Transmission à courant auxiliaire* (variation d'intensité du courant).

La forme la plus simple d'une transmission à distance d'une indication est celle où l'instrument de mesure lui-même est assez fort pour déplacer le contact de glissement d'une résistance convenablement dimensionnée et connectée à une batterie de tension constante (courant auxiliaire). Ce genre de construction est utilisé, en particulier, pour la transmission à grande distance des indications de dispositifs de mesures mécaniques, telles que pression, débit, température, etc.

a) *Dispostitif télémétrique utilisant des contacts glissants de l'appareil transmetteur* (instrument à cadres en croix de la maison Hartmann

& Braun de Francfort-sur-le-Mein, utilisé comme appareil récepteur) (1).

Hartmann et Braun font emploi d'un tambour commutateur ou d'un cylindre en matière isolante pourvu d'un enroulement en fil à haute résistance et utilisent un appareil récepteur à cadre en croix (G appareil transmetteur, K accouplement, S contact glissant, C tambour, appareil indicateur ou récepteur, instrument à cadre en croix L_1, L_2, L_3 = fils pilotes). Ce dispositif a été dérivé du dispositif employé antérieurement pour des mesures de températures où l'appareil

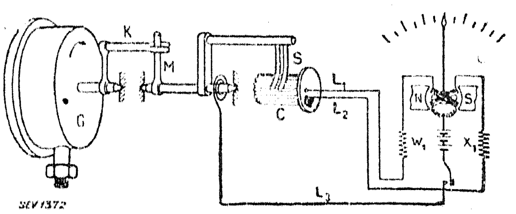


Fig. 1.

transmetteur et l'appareil récepteur étaient connectés à l'aide du fil pilote et la transmission réglée au moyen de résistances variables dépendant des variations de la température. Dans le cas de la méthode étudiée par Hartmann & Braun, la résistance est enroulée sur la circonférence d'un tambour glissant sur un balai à contact par lequel le rapport des résistances partielles entre le balai et l'extrémité de la résistance est modifié selon les variations des quantités à mesurer et est indiqué par un instrument à cadre en croix, dont le mode de fonctionnement est bien connu. Il repose sur un effet différentiel. Les valeurs des résistances connectées en série avec les deux enroulements de l'appareil récepteur sont ainsi changées. Trois conducteurs sont nécessaires pour la transmission entre l'appareil transmetteur et l'appareil récepteur ou deux conducteurs avec la terre comme ligne de retour commun. Le rayon d'action atteint quelques centaines de kilomètres. L'inconvénient de cette méthode est que la précision des indications dépend de la variation de tension de la batterie auxiliaire, des variations de la résistance des lignes de transmission et du nombre des lignes de transmission (en général 3).

(1) Voir *Electrotechnik und Maschinenbau*, 1928, p. 863.

b) *Transmetteur de Siemens & Halske, Berlin, en forme de tore ou de tuyau annulaire* (1).
(Fig. 2 et 3)

Pour la transmission à distance des positions d'indication des instruments de mesure d'une construction robuste, la maison Siemens & Halske à Berlin utilise un instrument connu sous le nom « Transmetteur à anneau tubulaire ». Le fil, enroulé sur un tambour dans la méthode de Hartman & Braun, est remplacé par un fil en platine à l'intérieur d'un tuyau annulaire en verre, à moitié rempli de mercure. Selon la position du tuyau annulaire, une partie plus ou moins grande de la résistance (fil de platine) est modifiée par court-circuitage. Ces variations de résistance sont aussi utilisées pour le télémétrage des quantités mesurées à l'aide d'un instrument à enroulement mobile. Le schéma des connexions est, en principe, le même que celui de la maison Hartmann & Braun, les deux extrémités du fil de platine étant connectées au conducteurs extérieurs L_1 et L_2 des 3 fils pilotes, tandis que le troisième fil est connecté au fond du tube annulaire. Dans le cas où un instrument à quotient est utilisé comme récepteur, les indications sont indépendantes des fluctuations de la pression auxiliaire, et les variations de la résistance des fils pilotes n'ont ainsi pas d'influence sur les indications du récepteur.

La plupart des instruments de mesures électriques sont trop délicats pour qu'on puisse utiliser la disposition adoptée par Hartmann et Braun et Siemens et Halske. Ce n'est qu'en utilisant un compteur d'induction ayant un enroulement d'intensité et un enroulement de tension surchargés, que l'on peut obtenir des couples-moteurs suffisamment grands, pour déplacer l'indicateur des instruments de mesure.

c) *Transformation automatique des quantités mesurées en courant continu, en utilisant ou non une batterie auxiliaire* (dispositif télémétrique à double étrier mobile de Siemens & Halske, méthode potentiométrique (2).

Un ajustage du courant continu auxiliaire à la main — proportionnellement à la quantité à transmettre — ou le réglage automatique de la résistance ne peuvent être envisagés que dans des cas exceptionnels

(1) Voir *Siemens-Zeitschrift*, 1928, p. 716 et *Elektr.-Journal*, 1928, p. 231.
(2) Voir *Siemens-Zeitschrift*, 1927, p. 492.

nels. D'une valeur véritablement pratique et d'une importance considérable sont la conversion et la transformation automatiques de la quantité à mesurer en courant continu à l'aide d'une batterie auxiliaire ou sans batterie. Une solution est offerte par l'utilisation du *potentiomètre à double étrier mobile* de la maison Siemens et Halske

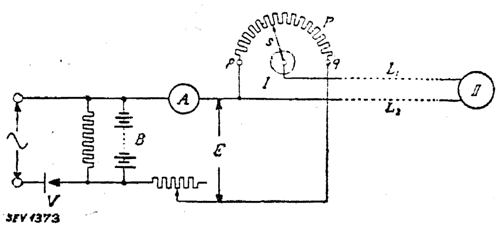


Fig. 2.

(Télémétrage utilisant du courant continu et une batterie auxiliaire).

Les dispositifs à simple étrier mobile permettent d'utiliser des couples-moteurs beaucoup plus petits pour les appareils transmetteurs, mais ils présentent l'inconvénient d'une indication intermittente. Dans le cas du dispositif télémétrique à double étrier mobile de

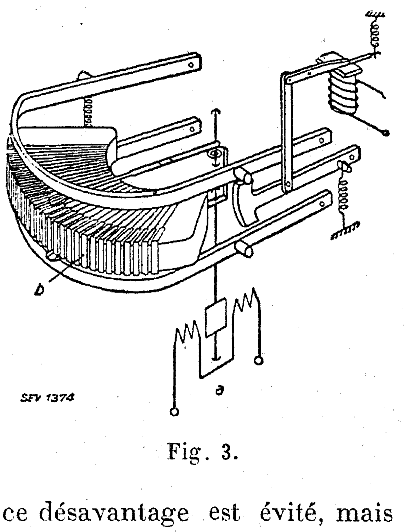


Fig. 3.

Siemens et Halske, ce désavantage est évité, mais — d'autre part — cette construction est assez dispendieuse.

Une batterie de tension auxiliaire de 24 V est connectée aux extrémités d'une résistance enroulée sur un segment circulaire (voir figures 2 et 3), au-dessus duquel l'indice de mesure se déplace. A l'aide du mécanisme à double étrier mobile, l'indicateur détermine une tension proportionnelle à la déviation de l'indicateur, la tension étant

transmise par les fils pilotes. La résistance est, en général, montée en diviseur de tension. Pour empêcher le contact de se déplacer, après que l'étrier mobile ait été relâché, et pour empêcher que l'indicateur de l'instrument de mesure oscille continuellement entre la valeur zéro et une butée limite, un second indicateur est prévu, qui est pressé en bas par un second étrier mobile jusqu'à ce que l'indicateur de mesure principal ait été déplacé à une nouvelle position de contact correspondant à une nouvelle position indicatrice. En utilisant des instruments à cadres mobiles montés en croix, l'indication peut être rendue indépendante de la pression auxiliaire. Cet instrument est plutôt coûteux.

Le rayon d'action de la transmission s'élève à environ 1 000 km.

d) *Dispositif potentiométrique de la Westinghouse Electric and Manufacturing Co., Pittsbourgh Pa., U. S. A* (1).

Dans cette méthode, deux potentiomètres automatiques connectés en série sont utilisés ; l'un étant placé du côté transmetteur et l'autre du côté récepteur. Comme appareil transmetteur on emploie un relais wattmétrique enregistreur W, pourvu d'une résistance R_1 à con-

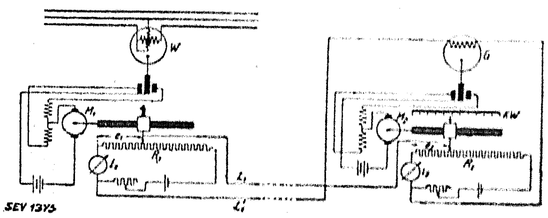


Fig. 4.

tact glisseur, ce dernier étant fixé rigidement à un stylet traceur. La résistance R_1 est disposée en potentiomètre et parcourue par le courant auxiliaire constant i_1 de la batterie. L'équipage mobile ou le système propulsif du wattmètre W a deux contacts limiteurs contrôlant la rotation du moteur auxiliaire M_1, tournant dans un sens ou dans l'autre. A l'aide d'une résistance à contact glissant qui n'est pas représentée sur le schéma, et à l'aide d'une batterie auxiliaire, le courant dans l'enroulement d'une bobine qui n'est pas représentée non plus, est modifié jusqu'à ce que le couple-moteur produit ou créé par

(1) Voir *Transactions American Institute of Electrical Engineers*, 1924, p. 303.

cet enroulement compense le couple-moteur produit par l'enroulement du wattmètre. La tension e_1 entre les lignes L_1 et L'_1 est proportionnelle à la déviation du wattmètre enregistreur W (voir diagramme des connexions).

L'appareil récepteur se compose d'un appareil analogue. Son potentiomètre a une résistance $R_1 = R_2$ et un courant $i_2 = i_1$. Un instrument à courant continu G (galvanomètre ou galvanoscope) est utilisé comme indicateur et comme élément de contact, contrôlant le moteur M_2 de façon que la tension e_2 produite ou ajustée dans le second potentiomètre soit égale à la tension e_1 entre les lignes L_1 et L'_1.

De cette manière, le galvanomètre G et les fils pilotes sont sans courant. Un écrou mobile sur un axe peut être pourvu d'un indicateur qui se déplace sur une échelle, divisée par exemple en kilowatts, d'une manière analogue à celle du transmetteur. L'appareil de mesure, placé dans le poste récepteur, ne s'arrête que quand les fils pilotes sont sans courant, ce qui arrive quand une force électromotrice égale, mais de signe contraire (ou agissant dans la direction opposée à celle du poste transmetteur) est ajustée par le second potentiomètre.

Cette méthode est une méthode de « zéro » et, pour cette raison, elle est indépendante de la grandeur de la résistance des fils pilotes. Mais sa précision dépend de l'identité et de l'égalité des deux courants i_1 et i_2. Un désavantage est la complexité des connexions. Un autre consiste dans les frais élevés d'installation (d'après les indications données dans la littérature américaine, le transmetteur seul coûte plus de 5 000 francs).

e) *Dispositif télémétrique d'Evershed and Vignoles Ltd., Londres* (Midworth distant repeater). (Voir « World Power », septembre 1930, vol. 14, n° 81, pages 228-233 et « Elektrojournal », Vol. 8, 1928, p. 61) (Fig. 5).

Cette méthode télémétrique fonctionne d'après le même principe du potentiomètre automatique. Co-axialement à un appareil transmetteur de mesure I, mais disposé sur un arbre séparé, est monté un système auxiliaire à courant continu F, en série avec les contacts glisseurs *s* de la résistance R du potentiomètre circulaire P. Si les deux positions des deux instruments de mesure ne coïncident pas, l'un des deux contacts est fermé, enclenchant ainsi un moteur et le faisant tourner en avant ou en arrière, de manière à déplacer le contact du potentiomètre,

jusqu'à ce que le courant dans le circuit de l'enroulement mobile atteigne le même écart que celui du système transmetteur. Le système I est en série avec l'instrument récepteur II, branché sur une partie *sp* de la tension du potentiomètre P. En série avec les deux instruments à courant continu du transmetteur, est aussi placé le récepteur sur des fils pilotes à grande distance. Le courant est de 10 mA environ. Deux fils seulement sont nécessaires. Ces indications sont indépendantes de la valeur de la tension auxiliaire, pour autant que la dévia-

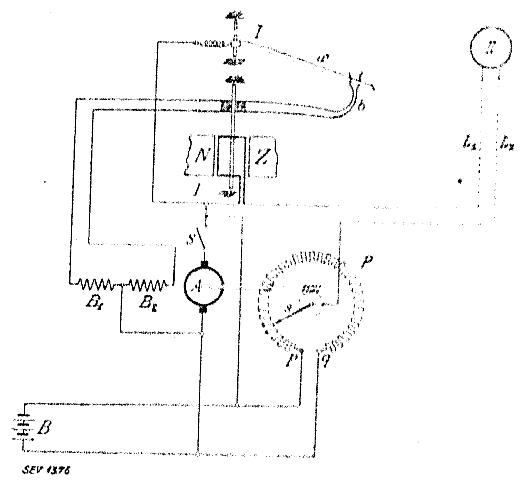


Fig. 5.

tion finale maximum n'est pas atteinte (ajustage direct du courant auxiliaire et d'une batterie auxiliaire).

Co-axialement à l'instrument de mesure I est placé un instrument I' auxiliaire à enroulement mobile, qui est branché en série avec l'instrument récepteur II sur une partie de la tension *sp* du potentiomètre P. La position de contact du potentiomètre est modifiée par le moteur shunt M avec l'induit A et les 2 enroulements excitateurs B_1 et B_2.

Le moteur tourne dans un sens ou dans l'autre, selon que l'indicateur *w* de l'instrument de mesure I fait contact d'un côté ou de l'autre avec la bande ou la lamelle *b*, qui est fixée à l'indice de l'instrument de mesure I'. Selon cette position l'un ou l'autre des deux enroulements excitateurs B_1 ou B_2 est excité et par conséquent l'induit A du moteur M tourne dans un sens ou dans l'autre et la résistance du potentiomètre est déplacée d'une position à l'autre. Seulement dans le cas où l'indicateur *w* est en équilibre, aucun contact n'est fait avec

l'étrier *b*. Ceci est le cas où les positions des deux dispositifs de mesure à courant continu coïncident. Alors les bobines d'excitation B_1 et B_2 ne sont pas parcourues par le courant, sur quoi le circuit d'induit du moteur est automatiquement ouvert à l'aide de l'interrupteur S et le moteur est arrêté.

Vu que la position de l'enroulement mobile de l'instrument de mesure I ne dépend que du courant, les variations de la tension de batterie B ou les variations de la résistance des fils pilotes n'ont aucune influence sur l'appareil récepteur II.

f) *Méthode potentiométrique de Hartmann et Braun à réglage à courant continu pour mesure à grande distance à l'aide d'une compensation automatique* (transmission à batterie auxiliaire) (1).

Le diagramme fondamental (Fig. 6) montre schématiquement le nouveau dispositif télémétrique de HARTMANN et BRAUN. HARTMANN et BRAUN combinent l'instrument de mesure principal I avec l'instrument auxi-

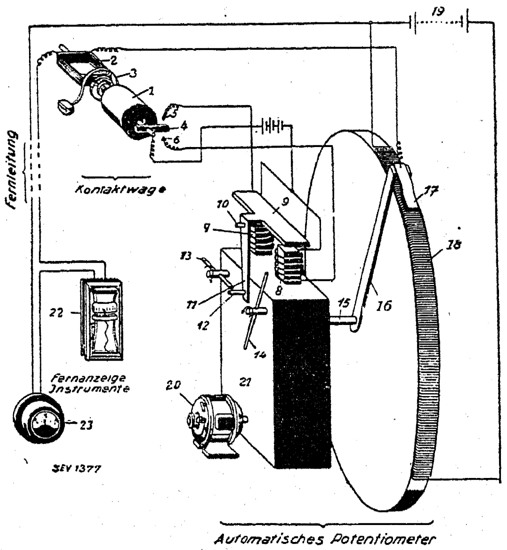


Fig. 6.

liaire de mesure I' à enroulement mobile, de manière que le couple-moteur de ce dernier est utilisé comme couple-directeur du premier. De cette façon, on obtient une balance Kelvin à contact avec un potentiomètre automatique. La balance à contact est seulement en équi-

(1) Voir *Elecktrotechnik und Maschinenbau*, vol. 46, 1928, p. 863.

libre quand le courant dans l'enroulement mobile, et par conséquent dans l'instrument indicateur II connecté en série avec celui-ci, a une valeur correspondante à celle de la quantité à mesurer. A chaque écart la balance est déviée et fait contact (C_1 et C_2) de l'un ou de l'autre côté, le courant dans l'enroulement mobile étant ajusté à la valeur correcte. Hartmann et Braun utilisent dans ce but un potentiomètre P représenté dans le diagramme. Un moteur 1 fait tourner deux arbres avec les deux leviers 2 et 3 en sens opposé à l'aide d'un engrenage différentiel double. Un bras de levier 5 est attaché à l'arbre 4, le levier déplace le contact *s* du potentiomètre P à travers lequel passe un courant fourni par une batterie B_1.

L'arbre 4 est accouplé de telle manière aux arbres 2 et 3, à l'aide d'un différentiel monté dans un boîtier, qu'il ne tourne pas quand 2 et 3 ont la même vitesse. Seulement dans le cas où la goupille 10 fixée au levier 7 peut tourner également, l'arbre 4 est déplacé dans l'une ou l'autre direction. Le mouvement du levier 7 est contrôlé par la déviation de la balance de contact à partir de la position d'équilibre dans un sens ou l'autre, ce qui fait exciter l'enroulement 8 ou l'enroulement 9.

La figure 6 représente un dispositif de mesure quelconque, par exemple, le tambour de l'instrument de Ferraris 1, accouplé mécaniquement avec le dispositif de mesure 2, dans notre cas avec l'enroulement d'un instrument à bobine mobile. Le ressort de torsion 3 donne une force directrice minimum au dispositif de mesure. Sur l'arbre du dispositif de mesure 2 est monté un levier de contact 4, qui se déplace entre les contacts 5_1 et 6_2. A l'aide d'une batterie B_2, ces contacts excitent une des bobines 8 ou 9 d'une balance pivotant autour d'un arbre 10, dont le levier 11 coopère avec les deux leviers tournants 13 et 14 à l'aide d'une goupille 12. Ces leviers 13 et 14 sont tournés en sens opposé par un moteur 20, la rotation étant effectuée à l'aide d'un double engrenage différentiel, monté dans un boîtier 21. Avec ce double engrenage différentiel est aussi accouplé l'arbre 15 du levier 16 du potentiomètre 18 qui déplace un contact glisseur 17 le long d'une résistance circulaire P.

Le mode de fonctionnement de ce dispositif est le suivant :

Si l'équilibre de la balance de contact 1,2 est dérangé, le contact 4 touche, par exemple le contact 5 et le levier de la balance 9 avec la goupille 12, coopérant avec le levier tournant 13. De cette manière celui-ci est arrêté, ce qui provoque la rotation du levier 16 jusqu'à ce que le courant parcourant la bobine II compense la quantité à me-

surer de l'instrument I. De cette façon le contact 5 est libéré ou débloqué par le levier de contact 4. Dans chaque cas un courant passe à travers le dispositif de mesure II correspondant à la quantité à mesurer I. Ce courant est transmis le long du fil pilote à grande distance aux instruments récepteurs télémétriques 22,23 qui peuvent être disposés en instruments enregistreurs ou instruments indicateurs. Vu que l'instrument télémétrique est branché en série avec l'instrument de compensation 2 et la balance de courant 1, 2, les indications de la quantité à mesurer seront complètement indépendantes des variations éventuelles de la résistance de la ligne de transmission à grand distance ou des variations de tension de la batterie B qui peuvent se produire au cours de l'exploitation.

II. — Deuxième groupe de dispositifs télémétriques.

Transmission à l'aide d'un système à variations de fréquence.

Le système à variation de fréquence est basé sur un réglage de la fréquence d'un alternateur par le réglage de l'excitation de son moteur d'entraînement selon la position prise par l'appareil transmetteur. Le récepteur de ce système compliqué est constitué par un fréquencemètre.

Jusqu'à présent, le second groupe de dispositifs télémétriques utilisant une fréquence auxiliaire n'a pas eu une grande importance technique. Il est douteux qu'il en prenne à l'avenir. Jusqu'à présent, l'on ne connaît qu'une installation américaine de ce genre en exploitation. Ce dispositif comporte une balance Kelvin, fonctionnant sous l'influence de la quantité à mesurer (kW) et de la fréquence qui est contrôlée par la vitesse d'un petit alternateur. L'appareil récepteur est un fréquencemètre calibré pour la lecture en kW. Le dispositif télémétrique exécuté d'après cette méthode est compliqué et coûteux, du moins, en ce qui concerne l'entretien et l'installation de transmission.

Les ingénieurs américains Smith et Pierce, ont réalisé une installation intéressante de ce genre en Californie. Depuis différentes sous-stations, situées à de grandes distances du centre, les charges sont transmises à tous les postes de transformation et de distribution et au load dispatcher ; en même temps, les charges sont additionnées et totalisées en commençant par la dernière. La transmission est effectuée à l'aide de 2 conducteurs (fil de cuivre de 3,26 mm), sous des ten-

sions de 1 000 et 2 000 volts et avec des fréquences de 20 à 60 péru des par seconde, selon la charge à mesurer.

A l'aide d'un dispositif plutôt compliqué, il est possible de transmettre la nouvelle fréquence à la prochaine station, cette fréquence étant augmentée de la quantité correspondant à celle de la puissance produite par la station elle-même, de telle manière que le load dispatcher reçoive facilement la somme totale. Cette méthode a donné pleine satisfaction ; elle a fait ses preuves dans la pratique, mais elle exige des appareils dispendieux de grandes dimensions et, par conséquent de fortes sections des fils pilotes, vu que 40 watts environ doivent être transmis d'un bout de la ligne à l'autre. Ces appareils exigent aussi un certain entretien (1).

III. — Transformation directe en courant continu des quantités a mesurer sans utilisation de batteries auxiliaires.

a) *Emploi de redresseurs* (voir ETZ 1927, p. 1738, ETZ 1929, p. 1511, Siemens Zeitschrift 1928, t. 8, p. 293).

Une importance beaucoup plus grande doit être attribuée à ces méthodes. Une tension à courant continu proportionnelle à la quantité à mesurer est produite sans aucune batterie auxiliaire. Pour des mesures de courant, et, avant tout, pour des mesures de tension, des redresseurs mécaniques ou électrolytiques transforment l'alternatif en continu. Cependant, il faut remarquer qu'on obtient de cette manière, seulement des valeurs moyennes théoriques au lieu des valeurs efficaces. Les tensions à courant continu créées de cette façon sont proportionnelles aux courants et aux tensions qui doivent être transmis. A l'aide de cette méthode, l'on peut produire des tensions d'ordre de grandeur de 10 volts, ce qui est déjà suffisant pour effectuer des transmissions de mesure à des distances relativement grandes.

b) *Méthode de M. Fawsett de la Newcastle-on Tyne Electric Ligh and Power Supply Company Ltd., et de la Cambridge Instrument Company* (*utilisation du système à transformation thermique*). (Bulletin de la Société Française des Electriciens, t. 4, 1924 (4e série).

Le système Fawsett est destiné spécialement à la mesure des puissances au moyen d'un dispositif dénommé « convertisseur thermique ».

(1) Smith et Pierre, *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers*, 1924, p. 306.

On obtient une différence de température proportionnelle à la puissance et qui, appliquée à des couples thermo-électriques, permet d'obtenir en définitive une force électromotrice proportionnelle à la puissance. Le récepteur est constitué par un voltmètre à grande sensibilité. Dans ce système, qui utilise des fils de chauffage, la tension à courant continu produite est, d'une part proportionnelle au carré du courant ou au carré de la tension, et, d'autre part, augmente proportionnellement à la puissance. Il est bien vrai que la force électromotrice à courant continu créée de cette manière est très petite ne dépassant pas l'ordre de grandeur de 20 à 50 millivolts et nécessite des instruments récepteurs très délicats et à grande sensibilité. Par

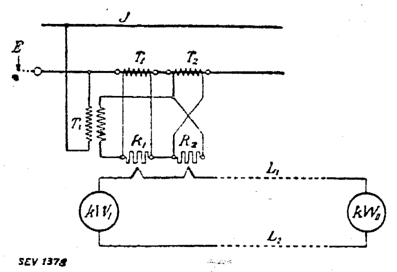


Fig. 7.

conséquent, les distances qui peuvent être franchies ne dépassent pas 10 à 20 km.

Nous avons vu plus haut que, dans les cas où les tensions à courant continu ne sont pas trop petites, des mesures à grande distance peuvent être effectuées sans difficulté. Par conséquent, il est bien évident qu'il faut s'efforcer d'obtenir par un moyen ou par un autre une tension à courant continu qui soit une fonction bien connue de la quantité à mesurer. FAWSETT a réussi à obtenir des mesures à courant alternatif à longue distance à l'aide des ampèremètres thermiques de la Cambridge Instrument Company. Le diagramme fondamental représenté sur la figure 7 montre le schéma des connexions pour le télémétrage de la puissance dans un circuit à courant alternatif monophasé. Les deux fils de chauffage R_1 et R_2 du convertisseur thermique, sont connectés aux secondaires des transformateurs d'intensité T_1 et T_2 et à l'enroulement secondaire du transformateur de tension T_3, de façon que le courant parcourant l'un d'eux, corresponde à la différence et le courant parcourant les deux autres à la somme de deux courants proportionnels à la tension E_1 et au courant du système monophasé. La force électromotrice résultante est alors proportionnelle à la puissance

du système monophasé = $E \times I \times \cos \varphi$, qui est indiquée par des instruments ordinaires à enroulement mobiles et ceci, non seulement dans le premier poste (kW_1), mais aussi dans le poste récepteur (kW_2). Les variations de résistance dans les fils pilotes entre les deux postes ont une certaine influence sur la valeur de la déviation de l'instrument.

c) *Les compteurs pourvus d'une dynamo à courant continu (système Téléwatt)* (1).

Dans le système Téléwatt, breveté par la Compagnie pour la Fabrication des Compteurs et mis au point par les Aronwerke à Charlottenburg, une petite magnéto, dont la force électromotrice est proportionnelle à la vitesse de rotation, est montée sur l'axe des compteurs à induction. La force électromotrice de la magnéto étant proportionnelle au nombre de tours de l'axe du compteur, l'est en même temps à la puissance mesurée. L'appareil récepteur est un galvanomètre à cadre mobile, dont l'échelle est graduée en kW. Ce système donne des résultats beaucoup plus satisfaisants que les méthodes décrites plus haut. La dynamo à courant continu elle-même produit en pleine vitesse une tension d'environ 1 volt. Aucune batterie auxiliaire n'est nécessaire dans ce cas. Le rayon d'action s'élève à environ 100 km. Le courant de la dynamo, d'ordre de grandeur de quelques millampères, est transmis par une ligne de communication, par exemple, une ligne téléphonique, au bureau principal du chef d'exploitation. L'énergie livrée peut être au besoin, enregistrée. Il est aussi possible de totaliser des quantités à mesurer par plusieurs transmetteurs connectés en série. De cette façon, la somme des puissances individuelles des générateurs et convertisseurs d'une installation peut être enregistrée par un seul appareil. (De tels dispositifs ont déjà été utilisés avec succès dans la salle de commande centrale de Friedrichsfeld-Ost, de l'Electrowerke A. G. et de la centrale électrique de Rummelsburg à Berlin et à la centrale électrique de Moabite de la Berliner Elektrizitätswerke A. G.). Les avantages particuliers de cette méthode résident dans la simplicité des connexions et dans l'absence des sources de courant extérieures.

---

(1) *Elektrizitats wirtschaft*, 1928, N° 4-9, p. 263, N° 475, p. 99 — *E. T. Z.*, 1928, N° 8, p. 282; N° 9, p. 1325. — *E. T. Z.*, 1928, N° 10, p. 351. — *Elektro-Journal*, 1928, N° 13, p. 137.

IV. — Les systèmes a induction.

a) *Le système à induction américain* est basé sur l'utilisation de deux moteurs à induction identiques, associés, l'un au transmetteur, l'autre au récepteur et ayant, soit un stator triphasé avec rotor monophasé, soit inversement, un stator monophasé avec rotor triphasé. Le rotor du récepteur reproduit les déplacements du rotor du transmetteur. Ce système a été inventé par la General Electric Company sous le nom de Selsyn et a trouvé de nombreuses applications aux Etats-Unis, non seulement pour la transmission de mesures à distance, mais aussi pour la commande et le contrôle des appareils à distance. De nombreuses installations exécutées d'après ce système ont été décrites dans l'organe de la General Electric Company, la General Electric Review. Les avantages de ce système sont la simplicité et son indépendance relativement grandes en ce qui concerne les effets des canalisations de transmission ; mais il possède l'inconvénient d'exiger 5 fils de transmission et un appareil transmetteur puissant, ce qui le rend extrêmement dispendieux.

b) *Système à induction basé sur l'emploi du dynamomètre d'induction Täuber-Gretler de la Maison Trüb, Täuber et Cie, à Zurich* (1).
Fig. 8.

Le principe du dynamomètre d'induction est le suivant :

Cet appareil, comporte un circuit magnétique feuilleté à entrefer avec un enroulement fixe F, dénommé bobine inductrice. Dans l'entrefer se trouve un cadre mobile D qui peut se déplacer par rotation autour d'un axe perpendiculaire au plan de la figure ; un noyau cylindrique fixe est prévu à l'intérieur du cadre.

L'appareil est du type dit ferro-dynamique, c'est-à-dire, à circuit magnétique entièrement dans le fer, excepté la partie correspondant à l'entre-fer. Le cadre mobile, qui n'est soumis à aucune force de rappel est relié aux bornes de connexion par deux rubans de bronze sans torsion.

Un tel appareil peut être considéré comme un transformateur. Si la bobine de champ est parcourue par un courant alternatif, une force électromotrice alternative de même fréquence est induite dans le cadre mobile. Cette force électromotrice est fonction de la position relative

---

(1) Voir *Bulletin A. S. E.*, 1926, p. 545 ; 1928, p. 395 ; 1930 p. 141. — *Revue Générale de l'Electricité*, 1929, p. 211. — *Elektrotechnik und Maschinenbau*, 1928, p. 189.

du cadre mobile par rapport à la bobine de champ fixe, autrement dit, fonction de l'angle α de déviation du cadre mobile. Cet angle est compté comme nul, quand le flux coupé par le cadre mobile est nul, et comme positif, lorsque la déviation, les enroulements étant supposés à droite, a lieu en sens inverse des aiguilles d'une montre jusqu'à la valeur maximum de 45°. Il est évident que la force électromotrice induite dans le cadre mobile, dans l'hypothèse d'une répartition uniforme du champ, est proportionnelle à l'angle α et atteint donc

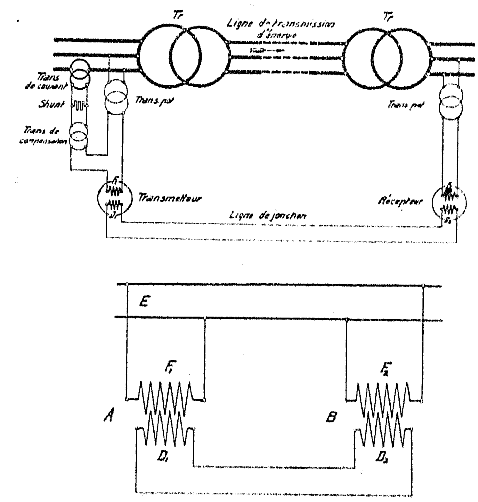


Fig. 8.

pour $\alpha = +45°$ et pour $\alpha = -45°$ des valeurs égales, mais de signes contraires.

Une propriété connue du dynamomètre d'induction est que le cadre mobile prend la position pour laquelle la tension appliquée est compensée par la force électromotrice qui s'y trouve induite d'après sa position par rapport à la bobine de champ. C'est cette particularité qui a été utilisée suivant le schéma de la figure 8 pour la transmission à distance d'un déplacement angulaire.

A transmetteur ;
B récepteur ;
F_1, F_2 bobines inductrices ;
D_1, D_2 cadres mobiles ;
E Barres omnibus ou fils-pilotes.

Soient deux appareils ferrodynamiques dont l'un A est le transmetteur et l'autre B le récepteur. F_1 et F_2 sont les 2 bobines inductrices alimentées par un même réseau. D_1 et D_2 sont les deux cadres mobiles.

Les deux appareils, transmetteur et récepteur, sont supposés identiques ou plus généralement électriquement semblables. Les courants dans les deux bobines F_1 et F_2 sont en phase. Si maintenant, le cadre mobile du transmetteur est dévié par un effort mécanique, à partir de sa position de 0 définie plus haut, une force électromotrice proportionnelle à l'angle de déviation s'y trouve induite. Cette force électromotrice se trouve appliquée aux bornes du cadre mobile du récepteur et provoque d'abord sa déviation. Mais cette déviation a pour effet d'induire dans ce cadre une force électromotrice de sens opposé à celle qui a provoqué la déviation. Il en résulte un état d'équilibre lorsque les deux forces électromotrices sont égales et opposées. Les deux appareils étant par hypothèse identiques, cet équilibre se produira lorsque les deux déviations seront égales entre elles, et, par conséquent, à la déviation primaire du transmetteur.

Si les deux appareils sont branchés de même, la déviation du récepteur est de sens opposé à celle du transmetteur. On rétablit la coïncidence du sens des déviations en inversant le sens de branchement de la bobine inductrice d'un des deux appareils. Comme les deux appareils se maintiennent dans leur position d'équilibre, sans réaction de l'appareil récepteur, la force qui doit assurer la déviation du transmetteur peut être très faible. On peut démontrer par le calcul que toutes les positions correspondent à un équilibre stable et que le couple directeur est proportionnel au carré du courant dans les bobines inductrices. Lorsque l'équilibre est atteint les fils de connexion ne sont parcourus par aucun courant. La longueur de ces fils de transmission est donc sans aucune influence sur la position d'équilibre. Une fois, celle-ci atteinte, il n'y a plus aucune force perturbatrice dans le transmetteur qui tende à en modifier la position. Il suffit donc de couples peu importants dans l'appareil directeur. Le système convient pour la totalisation de mesures ainsi que pour l'alimentation de plusieurs appareils récepteurs situés à une certaine distance les uns des autres. La transmission des indications est continue.

Le seul inconvénient, dans le cas de transmission à grande distance, est la nécessité de 4 fils de liaison de petite section qui sont en général groupés dans un câble sous plomb. Dans ce cas, il est souvent possible et avantageux d'utiliser des lignes de transmssion d'énergie, de sorte qu'il suffit des 2 fils de liaison des cadres mobiles.

V. — Méthode télémétrique par impulsions.
(Transformation des quantités à mesurer en impulsions de courant).

Au fur et à mesure que les distances pour lesquelles les transmissions télémétriques devaient être exécutées ont augmenté, le besoin s'est fait sentir d'effectuer le télémétrage sans fils pilotes spéciaux, vu que les frais d'installation des lignes de transmission sont beaucoup plus élevés que ceux des appareils transmetteurs ou récepteurs. Dans ce cas, il est nécessaire d'abandonner toutes les méthodes à courant continu, parce qu'il n'est pas possible d'obtenir que le signal reçu ne dépende que de la quantité à mesurer. Par conséquent, il ne reste d'autre moyen que d'utiliser des variations de fréquence ou des systèmes à impulsions.

Dans les systèmes à variation de fréquence, la fréquence constitue une combinaison fixe et invariable avec la quantité à mesurer. Le fréquencemètre récepteur est pourvu d'une échelle proportionnelle à la quantité à mesurer. (Des dispositifs de ce genre, en usage dans les Etats-Unis, comme mentionné plus haut, n'ont pas reçu une grande diffusion).

Beaucoup plus importants sont les systèmes à impulsions, dans lesquels des impulsions de courant sont émises à des intervalles de 0,1 à 10 secondes. Ces méthodes gagneront probablement plus d'importance à l'avenir. Tous ces systèmes constituent des méthodes télémétriques indépendantes de la résistance des conducteurs et des variations de tension dans une batterie auxiliaire.

Il y a trois groupes principaux de ces systèmes désignés comme suit :

a) à nombre d'impulsions ;
b) à durée d'impulsions ;
c) à fréquence d'impulsions.

a) *Système à nombre d'impulsions.*

L'emploi des deux premiers systèmes, est limité aux compteurs et plus généralement aux appareils de mesure, à rotation illimitée, en utilisant des à-coups de courants ; un dispositif de contact produit des impulsions de courant proportionnelles au nombre de tours. Les à-coups de courant produits par l'appareil émetteur à une cadence proportionnelle à la vitesse de rotation de ce dernier agissent, par exemple, sur un relais polarisé. L'exactitude n'est pas influencée par

la ligne de transmission et l'on a pu jusqu'ici employer ce système pour des distances atteignant 320 km. Dans le cas de la méthode dite système à nombre d'impulsions, les impulsions de courant qui sont transmises dans l'unité de temps sont comptées. Elles donnent ainsi une mesure pour les quantités transmises. Cette méthode a été développée en Allemagne par la Deutsche Telefünken Gesellschaft für drahtlose Télégraphie à Berlin.

Dans ce système, un compteur est utilisé comme appareil transmetteur qui ferme à chaque tour du compteur un ou plusieurs contacts, émettant ainsi une série d'impulsions de courant courtes. Cela revient au même que le télémétrage d'un compteur à indicateur à maximum au moyen d'un élément constitutif emprunté à la téléphonie automatique. Pendant une période, l'indicateur à maximum fait actionner un dispositif de mesurage à gradation. A la fin de la période de totalisation, ce dispositif marche en arrière et envoie en succession très rapide (jusqu'à 10 par seconde) des impulsions dans la ligne de transmission, ce qui fait opérer au poste récepteur un dispositif de mesurage à gradation analogue ou un compteur le faisant avancer de sa position initiale O à la valeur totalisée transmise. La période normale de totalisation ou de comptage qui s'élève normalement à 15 ou 30 minutes, peut-être réduite à des valeurs de 5, 3, et même 2 minutes. Un inconvénient de ce système est de ne pouvoir transmettre des valeurs instantanées. Cette méthode peut être adoptée sans difficulté pour la totalisation ou l'enregistrement des indications d'appareils transmetteurs disséminés.

b) *Système à durée d'impulsions* (1).
(Deutsche Telephonwerke und Kabelindustrie A. G. Berlin).

Dans ce système, la durée des impulsions produites dépend de la quantité à mesurer et à transmettre. Cette durée est proportionnelle à la déviation d'un instrument transmetteur. Un élément ou organe de contact ayant la forme d'un petit tambour, mû par un petit moteur synchrone, tourne continuellement devant l'indicateur de l'instrument de mesure, dont les indications doivent être transmises à distance. Cet organe de contact relève la distance instantanée de l'indicateur au point zéro de l'échelle. Ce processus a lieu à vitesse constante ; le temps de déclenchement d'un relais peut donc dépendre de cette distance par le jeu d'une simple combinaison de relais.

(1) Voir *Elektrizitats wirtschaft*, 1928, nº 452, p. 81. — *Elecktrotechnik und Maschinenbau*, 1928, nº 46, p. 106.

Ce relais contrôle à l'aide de la ligne de transmission ou de tout autre système le récepteur télémétrique qui consiste essentiellement en un petit moteur synchrone actionnant périodiquement des leviers transporteurs et ajustant au moyen d'accouplements électromagnétiques un indicateur en cadence avec la période de déclenchement du relais d'impulsion de l'appareil transmetteur. Ces impulsions individuelles se succèdent à des intervalles d'environ 2 secondes, de manière que l'appareil récepteur reçoive une rotation supplémentaire

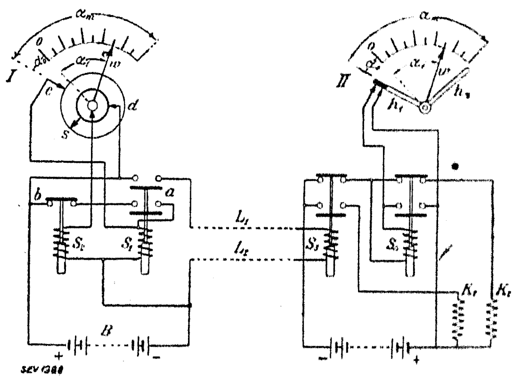


Fig. 9.

toutes les 2 secondes et qu'il soit ainsi amené dans une position correspondant à la position de l'indicateur au poste transmetteur.

c) *Système à fréquence d'impulsions.*

1. — *Système à impulsions oscillantes* (Impulsions à condensateurs) de la Siemens et Halske A. G. et de la Westinghouse Electric Company (1).

Le système à fréquence d'impulsions fait aussi usage comme transmetteur d'un compteur équipé d'un dispositif à contact. Les impulsions oscillantes de courant déchargent un condensateur chargé sous tension continue constante par une batterie auxiliaire à travers un milliampèremètre à courant continu très fortement amorti, dont la déviation est proportionnelle à la fréquence d'impulsion, et, par conséquent, à la quantité à mesurer.

Contrairement à la méthode dite « à nombre d'impulsions », le sys-

(1) *Electric-Journal*, 1924, p. 355. — *Siemens-Zeitschrift*, 1929, nos 3 et 4, p. 157 et 225.

tème à fréquence d'impulsions donne des valeurs instantanées de la quantité à mesurer. Cette méthode a été d'abord étudiée par l'ingénieur Smith de la Westinghouse Electric and Manufacturing Company et mise au point récemment par la Siemens et Halske A. G., à Berlin.

Il est possible soit de placer le condensateur, directement au poste transmetteur et de transmettre des pulsations de courant continu, soit ce qui est mieux, de transmettre les impulsions et de connecter le condensateur au poste récepteur à une batterie à tension constante. Cette méthode permet en particulier de totaliser différentes indications, le nombre des impulsions étant lui-même proportionnel à la quantité à mesurer (de manière qu'un transmetteur de petite capacité tourne plus lentement que celui construit pour de grandes capacités), ou en faisant des condensateurs de différentes dimensions, si des fils pilotes

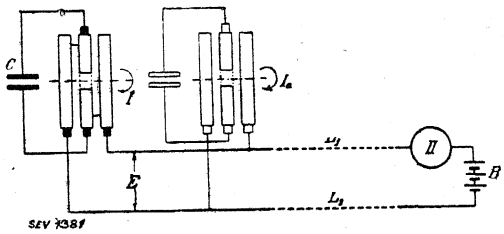


Fig. 10.

spéciaux doivent être installés. Le dispositif télémétrique élaboré par Siemens et Halske à transmission directe des impulsions, le long des lignes téléphoniques à grande distance ou à l'aide de la transmission à haute fréquence, fait usage de ce principe de mesure. Ce système peut être employé pour transmettre des quantités de mesure quelconques en utilisant un potentiomètre auxiliaire, connecté à un compteur transmetteur.

Si les deux plaques d'un condensateur ayant une capacité de 1μf sont alternativement connectées au moyen d'un commutateur à une batterie auxiliaire à courant continu de 100 V, un courant d'environ 0,1 milliampère par seconde (10^{-4} coulombs) parcourt à chaque charge ou décharge un ampèremètre inséré, ce qui donne un courant de 0,2 milliampères par seconde pour chaque inversion des polarités. A 6 impulsions par seconde, l'on obtient un courant de charge moyen de 1,2 milliampères, qui peut être indiqué et enregistré par des instruments sensibles. *La déviation de l'instrument indicateur est directement proportionnelle à la vitesse du compteur transmetteur* (Fig. 10).

Cette méthode présente des avantages remarquables sur d'autres

systèmes et peut être utilisée de différentes manières, présentant une grande diversité d'applications. La Sangamo Electric Company au Canada et aux Etats-Unis en fait usage pour le télécomptage : si les impulsions de courant sont transmises à un dispositif de comptage, on obtient un simple télécomptage. Si le compteur est pourvu d'un commutateur à action ultra-rapide (La Sangamo Electric Company indique 1/50e de seconde pour la durée de commutation[1], il est possible de totaliser les indications de différents compteurs et de différents genres de courant, de fréquence différente sans commettre une grave erreur. La Sangamo Electric Company a fait des essais permanents avec 10 compteurs et un appareil récepteur et prétend avoir obtenu une erreur totale d'environ 0,6 pour cent seulement. Dans ce but, il suffit de connecter en parallèle les fils pilotes qui transmettent les impulsions. La Sangamo Electric Company utilise pour le télécomptage (et non pour le télémétrage) non le principe de condensateurs proprement dit, mais celui des relais polarisés qui sont utilisés dans les horloges secondaires des grands réseaux de distribution commandées par les horloges-mères.

2. Un autre système à fréquences d'impulsions est celui de la Maison Landis et Gyr S. A., à Zoug, pour la transmission à grande distance et pour l'addition de quantités d'énergie, telles que l'énergie active,

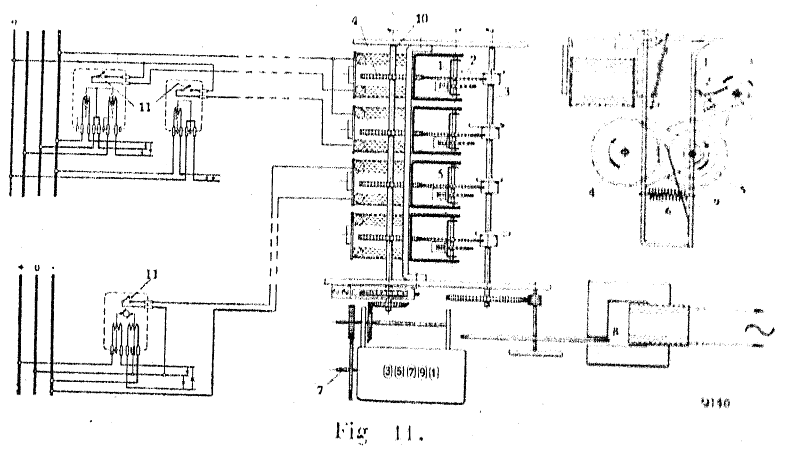


Fig. 11.

l'énergie réactive et l'énergie apparente. Cette méthode se base sur le principe que tous les compteurs dont les indications doivent être totalisées sont pourvus d'un dispositif de contact, chaque fermeture de contact correspondant au passage à travers l'appareil de mesure à un nombre déterminé de kilowattheures ou d'autres unités de mêmes dimensions physiques.

Le schéma de principe est représenté sur la fig. 11. On a choisi comme exemple un appareil muni de 4 relais, dont le premier est

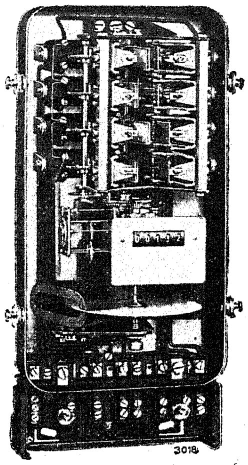


Fig. 12.

actionné par un compteur à courant triphasé, le second par un compteur à courant monophasé et le troisième par un compteur à courant continu 3 fils. Le quatrième relais n'est pas raccordé.

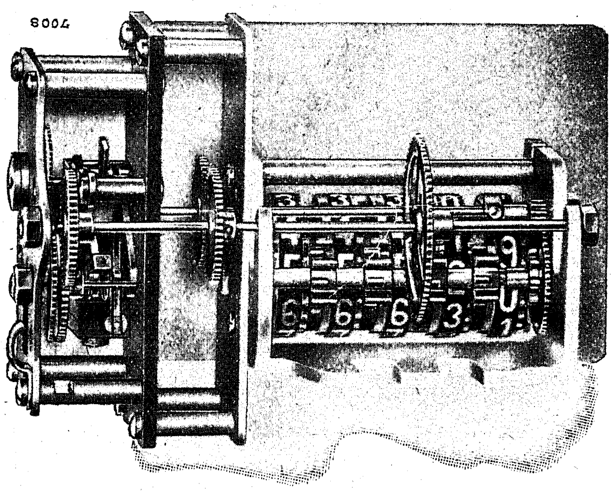


Fig. 13.

Lorsqu'un relais est excité, il attire son noyau, ce qui libère le levier 1 qui est déplacé par un ressort 6 dans la direction de l'arbre à cames 3, tournant continuellement sous l'action d'un moteur Ferraris, En même temps, un cliquet fixé au levier 1 glisse sur une dent de la

roue à rochet 5. Aux autres extrémités des leviers 1, il y a des mentonnets contre lesquels les cames 2 viennent heurter, de façon que les leviers 1 soient ramenés à leurs positions initiales par l'axe à cames et retenus à nouveau par les noyaux des relais qui ne sont plus excités. En même temps, le cliquet du levier 1 entraîne la roue à rochet 4 et l'avance d'une dent. Ces roues à rochet 4 sont montées sur un axe commun, l'axe totalisateur qui commande la minuterie totalisatrice 7. Comme les cames 2 sont décalées sur l'arbre 3, les mouvements de remise en place des leviers 1, et, par conséquent, les avances de la

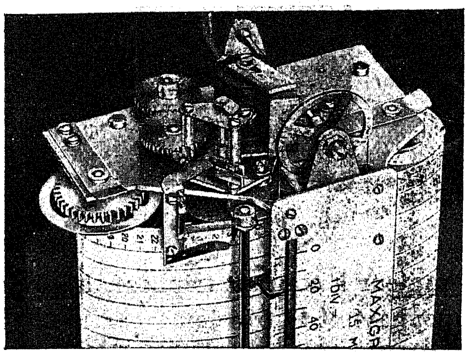


Fig. 14.

minuterie totalisatrice 7 ont lieu, l'une après l'autre, même au cas où les relais auraient réagi simultanément.

Le compteur totalisateur doit être utilisé, à part les cas mentionnés plus haut, lorsqu'on désire mesurer pendant un temps déterminé la charge maximum des moyennes de plusieurs compteurs, vu qu'il n'est pas admissible d'additionner tout simplement les maxima de plusieurs réseaux, ceux-ci pouvant atteindre leurs valeurs maxima à des heures différentes.

Il est également possible de transmettre les impulsions d'un dispositif de contact fig. 13 de compteur individuel à longue distance et d'obtenir de cette manière un simple télémétrage. La minuterie totalisatrice du compteur totalisateur est alors commandée directement par un relais à distance du type RD. Le compteur totalisateur est de cette manière également un excellent appareil pour *mesurer l'énergie à distance* (fig. 14).

En principe, le dispositif de contact spécial, dont chaque compteur doit être muni, peut être monté sur toutes les minuteries de la Maison Landis et Gyr ; ces dernières doivent cependant, suivant le

cas, être un peu modifiées ou complétées. Le rapport de transmission entre l'axe du dispositif de contact spécial peut être varié dans de

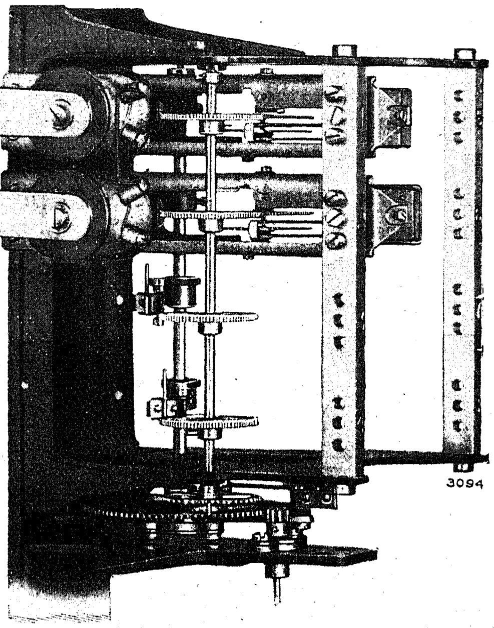


Fig 15.

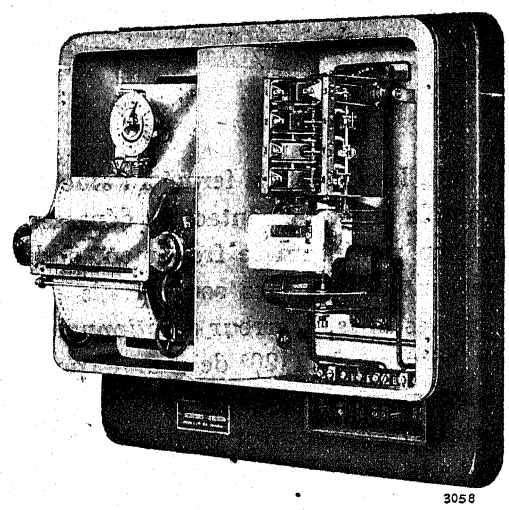


Fig. 16.

larges limites par un choix approprié d'engrenages et peut être adapté à la puissance nominale des compteurs, si, par exemple, des compteurs de différentes puissances nominales sont branchés sur un même

compteur totalisateur, il est évident que les systèmes propulsifs des compteurs de faible puissance nominale devront faire un nombre de tours plus grand que ceux des compteurs de puissance nominale plus élevée avant qu'il y ait contact.

Il ressort de la construction du compteur totalisateur que le contact du dispositif spécial ne doit être fermé au moment critique que pour une toute petite fraction de seconde, même dans le cas où le compteur en question s'arrêterait brusquement. Lors d'une durée prolongée de contact, il pourrait arriver que l'axe-à cames fît plusieurs tours pendant la même fermeture de contact et repoussât le levier d'enclenchement deux ou plusieurs fois de suite, ce qui donnerait lieu à une mesure erronée.

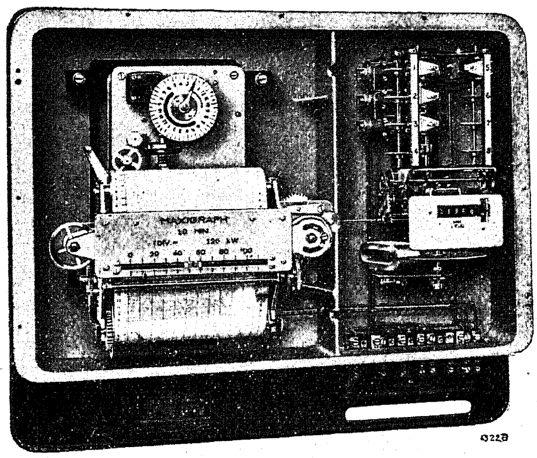


Fig. 17.

sure erronée. De ce fait, le contact est fermé à l'aide d'un petit contrepoids, de manière que la durée de contact ne dépasse pas 1/20^{e} de seconde. Pour réduire au minimum le frottement additionnel produit par le dispositif de contact, ses axes sont munis presque exclusivement de paliers à pierres fines. L'erreur additionnelle ne s'élève ainsi qu'à 1,5 pour cent environ à 1/20^{e} de charge pour un compteur à 2 systèmes propulsifs, même dans le cas le plus défavorable, c'est-à-dire, lorsque la fermeture du contact se produit dans l'intervalle le plus bref de 7 1/2 tours de l'induit du compteur, le couple moteur étant de 8,50 cmg à pleine charge ; si les contacts ont lieu à des intervalles plus longs, l'erreur additionnelle se réduit d'une manière correspondante. Le compteur totalisateur peut être muni à volonté comme un compteur ordinaire de différentes minuteries à tarifs spéciaux et peut être monté dans un «Maxigraphe», appareil enregistreur,

ce qui permet un enregistrement du total des charges moyennes de plusieurs réseaux (fig. 16). En plus, il peut être utilisé pour déterminer la différence entre l'énergie fournie et absorbée par différents réseaux, une partie de ses relais totalisateurs étant utilisée pour obtenir la somme des énergies d'une partie des lignes en question et les autres relais pour obtenir la somme des indications des compteurs montés dans les lignes dont les énergies doivent être soustraites La différence entres les indications des différents relais est obtenue par un engrenage différentiel monté dans le compteur totalisateur. (fig. 17).

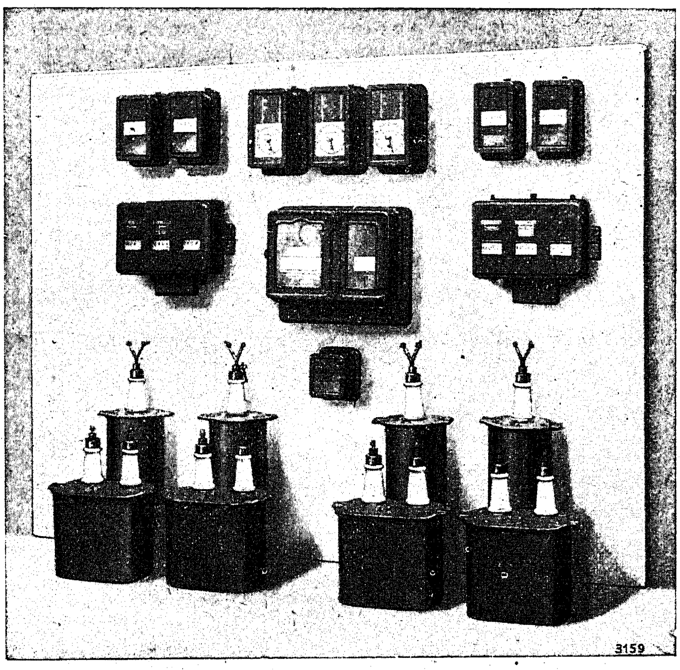


Fig. 18. — Groupe de mesure d'une installation télémétrique.

Les avantages principaux du compteur totalisateur peuvent être résumés comme suit :

1° Grâce à l'emploi d'une *source d'énergie spéciale* (servo-moteur Ferraris), on peut maintenir *les courants* des relais à des *valeurs excessivement faibles* (10 milliampères environ), de manière que les *distances* entre le compteur totalisateur et les compteurs à contact *ne jouent aucun rôle* important (principe de mesure à grande distance).

2° En concordance avec les faibles courants de commande, les dimensions des relais et des interrupteurs ainsi que celles des dispositifs nécessaires pour les actionner peuvent être réduites au minimum :

de cette façon, les différents compteurs à contact ne sont que faiblement mis à contribution par le mécanisme d'enclenchement, ce qui présente un grand avantage au point de vue *précision de mesure*.

3° Malgré la *faible consommation* d'énergie mécanique pour actionner la minuterie totalisatrice, le *couple-moteur* de l'axe à cames tournant continuellement est assez grand pour assurer un bon fonctionnement de l'appareil. (Il est évident que le courant du moteur entraînant cet axe ne doit jamais être coupé; de ce fait, nous recommandons, au cas où il existe deux sources d'énergie électrique indépendantes, de prévoir un relais branchant le moteur Ferraris d'une source sur l'autre, si la tension d'une d'elles fait défaut).

4° Grâce à la possibilité de prévoir une *canalisation de retour commune* pour tous les compteurs à dispositif de contact, on sera à même de réduire à un minimum le nombre des lignes de commande nécessaires. Selon les circonstances, on pourra aussi utiliser la terre ou d'autres conducteurs déjà existants comme canalisation de retour

5° Le décalage radial et axial des cames sur l'axe empêche que l'indication d'un compteur disparaisse lorsque deux ou plusieurs relais sont excités simultanément. Les cames sont exécutées de façon que le déclenchement des relais est assuré dans n'importe quelle position relative par rapport aux leviers. De cette manière *tout enregistrement erroné est évité*, toutes les impulsions de courant transmises étant efficaces.

6° Pour rendre l'enregistrement tout à fait sûr et absolument correct, les cames sont fixées élastiquement sur l'axe et la partie antérieure des cliquets est si étroite que la probabilité d'une opération d'encliquetage incorrecte est pratiquement nulle.

7° Grâce à l'utilisation de relais intermédiaires, des condensateurs et des bobines de self, ainsi que d'autres appareils auxiliaires, il est possible de transmettre les impulsions télémétriques sur les lignes téléphoniques (exploitation simultanée, service de superposition).

VI. — Totalisation des mesures a distances.

Comme déjà mentionné plus haut, on demande souvent que le télémétrage soit combiné avec la totalisation à distance, par exemple pour la mise en compte de l'énergie absorbée, si un consommateur absorbe du courant maximum à différentes heures à des points du secteur très distants les uns des autres, ou bien, que ce soit simplement pour la surveillance et l'observation de l'exploitation. On peut se servir, dans ce but, des systèmes à courant continu et des systèmes à impulsions.

En particulier, ces derniers se prêtent très bien à la totalisation. Dans une installation américaine, par exemple, on est parvenu à totaliser les puissances de 48 postes sur un seul compteur totalisateur par l'intermédiaire de 8 jeux de relais auxiliaires répartis entre différents réseaux. L'énergie totalisée est enregistrée en même temps à des intervalles de 15 minutes (1). Les dispositifs étudiés et construits indépendamment les uns des autres en Allemagne, en Suisse et en Angleterre au cours de ces derniers temps, fonctionnent d'une manière analogue. Mentionnons tout spécialement le système à impulsions étudié par la Maison Landis et Gyr S. A., où il est possible de totaliser les indications de 8 lignes avec un seul compteur totalisateur. Si le nombre des circuits ou des compteurs à totaliser est plus grand, l'on peut utiliser des combinaisons de plusieurs compteurs totalisateurs. Pour obtenir la somme de 64 différentes indications, il faudra utiliser, par exemple, 9 compteurs totalisateurs en réunissant les indications de chacun des 8 compteurs dans un groupe et en les totalisant sur un compteur totalisateur, après quoi, les indications de ces 8 compteurs totalisateurs peuvent être totalisées elles-mêmes sur le neuvième appareil.

VII. — Les points de vue importants a envisager lors de la transmission des mesures a grande distance en tenant compte en particulier des impulsions comme ayant les plus grandes perspectives d'avenir.

Comme nous l'avons vu au commencement, on attache, dans les centrales électriques une valeur toute particulière, — vu les grands frais d'installation des lignes de transmission, — à l'utilisation des lignes déjà existantes, par exemple, des lignes aériennes à courant faible ou des câbles téléphoniques. Les distances à franchir pour faire des mesures télémétriques varient de quelques centaines de mètres, à des centaines de kilomètres. Naturellement, les systèmes télémétriques varient suivant les distances à franchir. Un système qui donne les résultats les plus satisfaisants sur courtes distances, peut devenir la source de graves dérangements quand la transmission des mesures doit se faire sur des lignes plus longues. Au point de vue de l'électrométrie et du bon fonctionnement de l'installation, il est désirable que le système fonctionne indifféremment sur toutes les distances. Sur les distances plus longues il est indispensable que le sys-

(1) Voir *Journal of the American Institute of Electrical Engineers*, 1928, n° 47, p. 222.

tème de mesure permette l'emploi des lignes de signalisation, des conducteurs de câbles de téléphonie et de télégraphie, des lignes de téléphonie aériennes posées sur des poteaux de lignes à haute tension, des lignes aériennes de l'Administration des Postes, des fils pilotes dans les câbles à courant fort, etc. En outre, il est naturellement désirable que l'utilisation complète des lignes soit donnée pour les mesures à distance et la téléphonie simultanées.

A l'époque où les mesures à distance commençaient à se faire sur de courtes longueurs, l'on se servait de sytèmes qui transformaient les fluctuations de la grandeur de mesure en fluctuations de tension ou d'intensité, et c'étaient ces dernières fluctuations qui provoquaient les indications sur l'instrument placé à distance. Il saute immédiatement aux yeux que dans ces systèmes le résultat peut être fortement influencé, par variation de la résistance électrique dans la ligne, ou par une modification quelconque de l'isolement du fil servant à la télétransmission. Bien qu'on ait réussi à réduire très sensiblement l'influence de la température, par exemple en utilisant des instruments indicateurs à résistance interne très élevée, de tels systèmes s'exposent pourtant à des inconvénients très sérieux, par suite de défectuosité dans l'isolement, ceci surtout quand il s'agit de distances plus longues ou très longues, et, quand on doit utiliser des lignes étrangères dont la surveillance et l'entretien n'est pas du ressort des usines intéressées. Il faut également mettre en compte l'influence directe ou par induction par les conducteurs à courant fort, des lignes servant à la transmission des résultats de mesures électriques. Quelque soignée que puisse être l'installation des lignes de transmission dans un endroit quelconque, il peut toujours se présenter la possibilité d'une défectuosité ; pensons seulement aux lignes suspendues aux poteaux et pylônes des conducteurs à haute tension ; même les câbles souterrains suivant le tracé des lignes aériennes à haute tension ne sont pas à l'abri de l'induction. L'avantage d'une indication permanente, présenté par certains systèmes à variations d'intensité, ne peut naturellement pas compenser les inconvénients précités. Par conséquent, on peut prétendre que les systèmes à impulsions ont les plus grandes perspectives pour l'avenir et qu'ils retiendront probablement en fin de compte le vaste champ d'application du télémétrage.

VIII. — Comparaison critique des différents systèmes de mesure a distance.

Si la distance à franchir est assez grande pour qu'on soit obligé d'avoir recours à un système télémétrique, il se présente une grande

variété de méthodes parmi lesquelles il faut choisir la plus appropriée dans chaque cas particulier.

Si l'on impose en premier lieu l'*exigence que deux fils pilotes* seulement doivent être utilisés, et que le premier ne doit pas l'être comme fil de retour, il faut éliminer tous les systèmes faisant emploi des instruments avec cadres mobiles en croix.

Si l'on pose la condition que *la plus grande sécurité de service* doit être combinée avec la possibilité d'installer dans le poste de mesure un instrument indicateur d'une manière simple et à bon compte, qui peut être utilisé comme appareil de contrôle pour l'instrument de mesure du poste d'émission, il faut donner la préférence à toutes les solutions dans lesquelles on utilise du courant continu dans les fils pilotes. Les solutions n'utilisant pas de courant continu ne se prêtent pas, en effet, à l'emploi de certains appareils. La méthode Fawsett de la Newcastle-on Tyne Electric Light and Power Supply Company, Ltd. contraint à envisager l'emploi d'instruments thermiques et le système Téléwatt à l'utilisation d'un instrument de mesure dont la vitesse de rotation est proportionnelle à la quantité à mesurer. Dans les deux cas, des défauts d'isolement et des variations de la résistance des lignes de transmission peuvent intervenir dans la mesure et jouent un rôle important.

L'utilisation de courant auxiliaire permet de franchir des distances jusqu'à 100 km. Dans le cas de réglage indirect de courant, ce ne sont pas seulement les variations de résistance, mais aussi des fluctuations de la tension qui exercent une influence sur les indications des mesures à distance. Le même désavantage est aussi inhérent à la solution du système à double étrier mobile imaginé par Siemens et Halske.

Dans le cas du réglage direct de courant par des potentiomètres, cette difficulté est éliminée. La solution inventée par Evershed et Vignoles présente l'avantage que la construction de l'instrument de mesure est moins modifiée que dans le cas de la méthode de compensation de Hartmann et Braun, où l'instrument de mesure a été transformé en une balance de courant à contact et où le couple directeur est donné par un instrument auxiliaire à cadre mobile. Le procédé inventé par Hartmann et Braun répond aux exigences formulées plus haut et à la condition que, ni les variations de tension de la source de courant auxiliaire, ni les fluctuations de résistance dans les lignes de transmission n'exercent aucune influence sur les indications des appareils récepteurs.

Le dernier avantage est aussi obtenu d'une manière parfaite par les

systèmes à variations de fréquence. Mais il est bien vrai que la complication qui réside dans le fait que la fréquence des alternateurs accouplés directement avec l'instrument de mesure n'atteigne pas des valeurs trop petites, empêche l'utilisation de cette méthode sur une grande échelle.

En ce qui concerne les constructions qui travaillent avec des impulsions oscillantes, on peut dire que la méthode élaborée par la Deutsche Telephonwerke und Kabelindustrie A.G., à Berlin, présente par rapport à celle établie par la Deutsche Telefunkengesellschaft für drahtlose Telegraphie, l'avantage que le temps qui s'écoule entre 2 corrections successives de la position de l'indicateur de l'appareil récepteur est plus petit (2 secondes).

Nous ne nous trouvons qu'au commencement de l'application du courant alternatif à la transmission d'énergie à haute fréquence, quoiqu'on travaille beaucoup dans cette direction. Pour cette raison il serait prématuré de se prononcer actuellement en définitive sur les résultats que l'on puisse atteindre de ce procédé.

Dans le cas des méthodes d'impulsions de courant, on est également complètement indépendant de n'importe quelles variations de tension ou de résistance. En outre, en faisant un choix convenable du comptage et en s'adaptant d'une manière appropriée aux conditions existantes, on peut utiliser des lignes de communication à faible courant (exploitation simultanée), non seulement pour la transmission des indications d'un seul et même instrument de mesure, mais aussi pour la transmission d'impulsions provenant de différents appareils de mesure. Pratiquement, n'importe quelle distance peut être franchie. Pour les raisons énoncées au § VII, les meilleures perspectives s'offrent aux systèmes à impulsions.

Tout le domaine de la télémétrie se trouve en partie à l'état embryonnaire, en partie en voie de développement. Actuellement on ne peut pas encore dire quels problèmes pourront être résolus définitivement et quelles solutions s'y prêteront le mieux. Cependant, il faut faire ressortir expressément que des perspectives d'une importance économique s'ouvrent dans la pratique pour l'exploitation des grandes centrales et réseaux interurbains, grâce à l'utilisation étendue des différentes méthodes de mesures à distance.

A la suite de la communication de M. Janicki, M. Triau, *Ingénieur E.S.E. à la Société* Siemens France, *a présenté les observations suivantes :*

Les transmetteurs à tore construits par les usines SIEMENS et HALSKE ne sont pas à proprement parler des transmetteurs pour longue distance. Ils ne sont, en général utilisés que pour transmettre à quelques centaines de mètres et, exceptionnellement, jusqu'à 2 ou 3 kilomètres des valeurs de pression ou de dépression en employant alors des appareils récepteurs spéciaux à cadres croisés dont les indications sont très peu influencées par les variations de tension. Lorsqu'on les emploie pour les longues distances, ces transmetteurs ne font que commander le circuit local d'un transmetteur à fréquences d'impulsions.

Le système à étrier avec courant auxiliaire est complètement abandonné. Sa complication, son prix et sa portée relativement réduite font qu'il n'a plus sa raison d'être depuis la mise au point par la Maison SIEMENS du système à fréquences d'impulsions dont la supériorité a été mise en lumière par M. JANICKI. On trouve d'ailleurs, dans ce système une solution très élégante du problème de la totalisation des valeurs mesurées. En principe, les appareils récepteurs, indicateurs ou enregistreurs, sont du type balistique très amorti. La déviation de l'aiguille est proportionnelle à la quantité d'électricité qui les traverse dans un temps donné, c'est-à-dire proportionnelle au nombre de décharges du condensateur placé au poste de réception et, par suite, au nombre d'impulsions qui ont été transmises dans le temps considéré. On alimente par une même source de courant, à voltage maintenu automatiquement constant, les condensateurs des divers dispositifs de réception. Pour obtenir la somme des indications des différents appareils récepteurs, il suffit alors de disposer immédiatement à la sortie de la source l'appareil totalisateur. La quantité d'électricité qui le traverse étant à chaque instant égale à la somme des quantités d'électricité qui traversent les autres récepteurs, on obtient immédiatement ainsi la totalisation de l'ensemble des valeurs mesurées.

Cette méthode est d'ailleurs d'une grande souplesse et permet en combinant des circuits à l'aide d'un jeu de fiches de totaliser très simplement, sans complications mécaniques, les indications d'un nombre quelconque des récepteurs individuels.

En ce qui concerne la transmission des impulsions sous forme de courant à haute fréquence, ce système est maintenant tout à fait au point, et il existe en particulier une importante installation de ce type sur le RHEINISCHE - WESTFALISCHE - ELEKTRIZITATSWERKE qui donne au poste de répartition de BRAUWEILLER la mesure à distance de 18 valeurs d'énergie active. Le poste de BRAUWEILLER n'étant pas encore entièrement achevé, cette installation n'est pas, pour le moment, en service régulier

mais fonctionne cependant d'une façon absolument parfaite. En France également, l'Union des Producteurs d'Electricité des Pyrénées a prévu une transmission de mesures à distance par courant, à haute fréquence en utilisant des lignes de transport de force haute tension entre Portet-Saint-Simon et le poste de répartition de Lannemezan. Le montage de cette installation doit être entrepris incessamment.

Remarques de M. Iliovici :

J'ai beaucoup regretté que l'heure tardive m'ait empêché d'ajouter quelques renseignements supplémentaires à la remarquable conférence de M. Janicki. J'aurais voulu, en effet, combler une lacune dans cette communication ; elle était si largement documentée sur ce qui a été construit et employé à l'étranger, que le silence de M. Janicki sur la fabrication française pourrait faire croire que les constructeurs de notre pays se sont désintéressés complètement de la question de la mesure à distance et de la totalisation.

Or, il n'en est rien : plusieurs maisons françaises construisent des appareils de télémétrie, soit pour la mesure à distance, ou la totalisation de grandeurs électriques, soit pour d'autres grandeurs : niveaux, volumes, position d'un repère mobile, etc...

Parmi les maisons françaises construisant de tels appareils, nous citerons : la Compagnie pour la fabrication des compteurs, les Ateliers Carpentier, la Maison Brillié.

Je me propose de rédiger un travail d'ensemble sur ce qui a été réalisé en France, mais je voudrais pour l'instant, attirer l'attention sur quelques-uns des dispositifs de la Compagnie pour la fabrication des compteurs, pour montrer que nous ne sommes pas restés en arrière dans ce domaine particulièrement intéressant.

Téléwattmètre. — Dans le dispositif connu sous le nom de « Téléwattmètre » et qui sert surtout à la mesure à distance et la totalisation des puissances, la partie principale est un appareil analogue à un compteur d'induction dont le disque, en cuivre, est soumis à l'action de deux groupes d'électro-aimants.

Le premier groupe donne un couple proportionnel à la puissance ; le deuxième, un couple proportionnel au carré d'une tension variable ou au produit de celle-ci par une tension constante. La tension variable est obtenue entre un point fixe et un point variable d'un rhéostat circu-

laire continu, monté en potentiomètre, dont le frotteur est entraîné par l'équipage mobile. Lorsque l'équipage est arrêté, la différence de potentiel variable est proportionnelle à la puissance ou à la racine carrée de celle-ci ; c'est cette différence de potentiel que l'on mesure à distance.

On ramène ainsi la mesure d'une puissance à celle d'une tension, que l'on peut mesurer facilement à grande distance à l'aide de deux fils pilotes.

Dans ce dispositif, on se sert de courant alternatif.

Des artifices simples permettent de faire la totalisation de plusieurs puissances.

Le « Téléwattmètre » est très intéressant pour mesurer et totaliser les puissances à une distance modérée ; on pourrait même transmettre à grande distance, mais on doit se servir d'une ligne spéciale dont le prix devient trop élevé lorsque la distance dépasse quelques dizaines de kilomètres.

Dispositif à impulsions.

Pour mesurer et totaliser à grande distance une énergie ou une puissance, la Compagnie pour la Fabrication des Compteurs emploie un dispositif « à impulsions ». Chaque compteur porte un dispositif qui permet de produire des impulsions dont le nombre est proportionnel à la vitesse de l'équipage mobile ; le courant ainsi obtenu passe dans l'enroulement d'un électro-aimant à cliquet qui, à chaque impulsion, fait avancer une roue d'une dent. On obtient ainsi un mobile dont la vitesse est proportionnelle à celle du compteur, donc à une puissance, et l'angle dont il tourne en un temps déterminé, est proportionnel à une énergie. L'électro-aimant peut se trouver aussi loin que l'on voudra des compteurs. On peut donc faire la mesure à grande distance.

Pour additionner les puissances ou les énergies mesurées par plusieurs compteurs, on se sert de différentiels. Ainsi par exemple, pour additionner les mouvements des équipages mobiles de deux compteurs on fait agir les cliquets correspondants, directement ou indirectement, sur les deux roues d'un différentiel ; on peut s'arranger alors de façon que la vitesse du planétaire soit proportionnelle à la somme des vitesses des deux compteurs, donc à la somme des puissances.

Pour trois compteurs, on fera d'abord l'addition de deux à l'aide

d'un différentiel, et un deuxième différentiel ajoutera la vitesse du planétaire de celui-ci à celle du troisième compteur.

Pour quatre compteurs, on emploiera trois différentiels, dont deux servent à faire les additions partielles des compteurs deux à deux, tandis que le troisième permettra de faire la somme des vitesses des planétaires des différentiels précédents... la vitesse de son planétaire sera donc proportionnelle à la somme des puissances mesurées par les quatre compteurs et l'angle dont il tourne pendant un temps déterminé, à la somme des énergies... et ainsi de suite.

Nous ne pouvons pas, pour l'instant, en dire davantage ; nous allons seulement indiquer que, grâce à certains détails de construction, on est arrivé à réaliser un appareil beaucoup plus simple que les appareils construits à l'étranger sur des principes analogues.

Si l'on fait entraîner, par le dernier mobile, une minuterie de compteur, on mesurera à distance la somme des énergies des compteurs.

Pour mesurer, ou enregistrer la somme des puissances, il suffit d'employer un relais genre relais Brillié, qui pousse une aiguille pendant un certain temps, par exemple pendant 1 minute, et qui revient ensuite rapidement en arrière ; des dispositifs convenables permettent à l'aiguille de prendre, après chaque intervalle de temps, une déviation proportionnelle à l'énergie pendant le temps donné, donc à la puissance moyenne.

Signalons que des appareils de modèles analogues à ceux décrits ci-dessus se trouvent dans les bureaux de dispatching et dans les usines de l'Union d'Electricité.

Dans ces dernières on a installé des « téléwattmètres » qui transforment la mesure d'une puissance en celle d'une tension : un compteur « voltheuremètre » fait la sommation des tensions, son équipage mobile tourne à une vitesse proportionnelle à la somme des puissances de l'usine. Ce voltheuremètre porte un collecteur qui permet de transmettre des impulsions au bureau du dispatching, à l'aide de lignes téléphoniques. Les impulsions sont reçues par des relais Brillié, qui agissent sur les aiguilles d'appareils enregistreurs ; ceux-ci enregistrent la puissance totale de chaque usine. D'autre part, un dispositif totalisateur, analogue à celui décrit, agit sur un autre appareil qui enregistre la puissance totale de toutes les usines.

Les « téléwattmètres » et les voltheuremètres ont été fournis par la Compagnie pour la fabrication des compteurs, tandis que la totalisa-

tion et l'enregistrement des puissances ont été réalisés par la Maison Brillié, suivant les indications des Ingénieurs de l'Union d'Electricité, et avec des appareils Brillié et Compagnie des Compteurs.

Téléindicateurs et enregistreurs de niveau ou de position.

En dehors des dispositifs qui permettent la mesure à distance et la totalisation de grandeurs électriques, la Compagnie pour la Fabrication des Compteurs construit des appareils permettant la mesure à distance et la totalisation d'autres grandeurs : niveau d'un liquide, volume, position d'un organe mobile, etc...

Nous décrirons rapidement deux groupes d'appareils.

Les premiers « téléindicateurs » servent en particulier à enregistrer ou à indiquer à distance, le niveau d'eau dans un réservoir, une citerne, etc... ou le niveau de la cloche d'un gazomètre, ou le volume de gaz contenu dans celui-ci, ou encore la position exacte d'un organe mobile, tels que : une écluse, une vanne, etc...

Dans le type « LN3 », le transmetteur comporte principalement un flotteur équilibré par un contrepoids et un rhéostat circulaire continu, sur lequel frotte un balai mobile, dont la position dépend de celle du frotteur.

Le récepteur est un appareil à deux cadres qui mesure ou enregistre le rapport des deux courants : ce rapport dépend de la position du balai sur le rhéostat du transmetteur et il est indépendant de la tension de la source du courant qui alimente les appareils.

Le courant peut être continu ou alternatif; la ligne de transmission doit être à trois fils, mais l'un des fils peut être remplacé par la terre les courants à transmettre étant très faibles.

Indicateur et enregistreur de niveau à distance,
à grande échelle lumineuse et à servomoteur.

Dans ce dispositif deux rhéostats identiques sont placés, l'un au transmetteur, l'autre au récepteur. Ces rhéostats sont alimentés par une même source de courant alternatif; leurs frotteurs sont réunis en passant par l'un des circuits d'un relais wattmétrique dont l'autre circuit est alimenté directement par la source.

Lorsque les positions des frotteurs sur les deux rhéostats ne sont pas identiques, le relais wattmétrique agit sur un servomoteur à courant alternatif et le fait tourner dans un sens approprié pour amener le

frotteur du récepteur à occuper la même position que celui du transmetteur.

La position du frotteur du récepteur est enregistrée sur un diagramme, tandis que les mouvements du servo-moteur sont reproduits par le déplacement d'un film, portant un index coloré, devant une double échelle lumineuse.

On peut donc lire à distance, le niveau d'eau par exemple, en même temps que l'on enregistre ses variations avec le temps.

Nous espérons que les quelques exemples ci-dessus montreront que la « télémétrie » n'a pas été négligée en France, et que nous ne manquons pas d'appareils intéressants pour la mesure à distance de grandeurs électriques ou autres.

PRÉSENTATION D'UN FILM RELATIF A LA POSE DU CABLE TÉLÉPHONIQUE BORDEAUX-TOULOUSE LE LONG DU CANAL DU MIDI.

par M. Louis CAHEN,

Directeur de la Société d'Etudes pour liason téléphoniques et télégraphiques à longue distance.

Le film très court qui va vous être présenté attire l'attention sur les problèmes spéciaux que peuvent avoir à résoudre les entreprises de pose de câbles à longue distance. Ce problème a été compliqué en l'espèce par la survenue des inondations de la plaine garonnaise, inondations dont on connaît la gravité.

Comme les communications de M. VIARD et de moi-même, en janvier 1927, sont les plus récentes qui, en séance plénière, aient été consacrées à la technique des câbles à longue distance, peut-être jugerez-vous intéressant que je dise très brièvement devant vous où nous en sommes de cette technique, d'autant plus que depuis 4 ans les résultats les plus importants se sont accumulés.

La France, qui en janvier 1927 possédait environ 800 kilomètres de câbles téléphoniques à longue distance en service, en a maintenant environ 3 000. Ce nombre doit être porté à environ 4 500 avant la fin de l'année 1931. Le nombre moyen de conducteurs de chaque câble étant de 360, cela correspondra à un développement d'environ 1 800 000 km. Tous ces câbles sont pupinisés, tous les circuits de plus de 100 kilomètres de longueur sont munis d'amplificateurs, le nombre de stations amplificatrices actuellement en service ou en montage est de 50 environ.

Les programmes de l'Administration déjà approuvés par le Parlement prévoient, dans un avenir prochain, un nouvel accroissement de 2 000 km environ.

Grâce à cet effort, une grande partie des grandes villes de France, sont déjà reliées entre elles par câble. A la fin de l'année 1931 seules, parmi les grandes villes de plus de 80 000 habitants, Reims, Clermont-Ferrand, Rennes, Montpellier, Nîmes, Brest, conserveront

encore des tronçons aériens dans les circuits les reliant à la capitale (fig. 1). Un réseau traversant l'Afrique du Nord est également décidé en principe et en voie de réalisation.

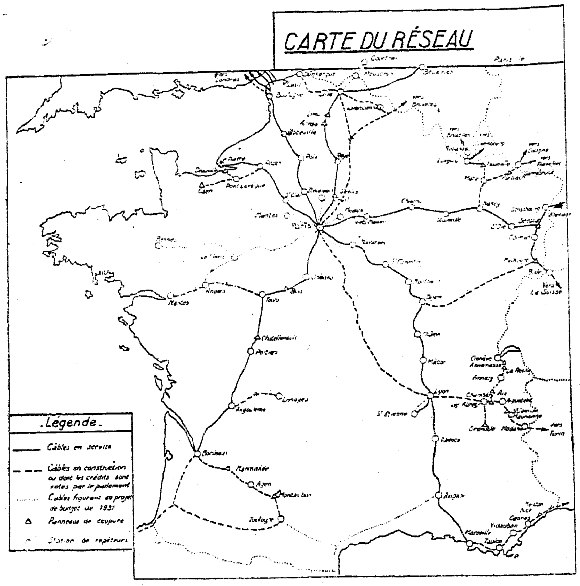


Fig. 1.

D'autre part, nous sommes dès maintenant reliés directement par voie souterraine ou sous marine à l'Angleterre, la Belgique, la Suisse et indirectement à toute l'Europe Centrale et à l'Italie. La liaison directe avec l'Italie sera prochainement obtenue et les câbles français arriveront également dans un délai restreint à la frontière espagnole.

L'extension du trafic n'a pas manqué de correspondre aux facilités qui lui étaient offertes. La suppression des délais d'attente de 2 ou 3 heures avec des villes comme Lille, a amené presque instantanément la multiplication par 2 du nombre des communications et partout l'accroissement a été rapide et régulier.

La réalisation de ce programme a été faite presque entièrement (sauf 600 km attribués au titre des réparations), par l'industrie française.

Si grand que puisse paraître cet effort, il ne paraît pas excéder les besoins et tout porte à croire qu'il sera largement rémunéré par ses résultats. D'ailleurs si la France regagne rapidement une place honorable dans l'Europe à ce point de vue, elle était, il y a 4 ans, fort en

retard et l'examen de la carte d'Europe montre que la densité des câbles en Angleterre, Allemagne, Suisse, Belgique, est supérieure à celle de France. Dans tous les pays, on est arrivé à doubler les premières liaisons, rapidement saturées.

Un tel essor ne serait évidemment pas concevable si les câbles n'apportaient au public des avantages énormes et si la technique ne réalisait pas sans cesse de nouveaux progrès. Résumons en quelques mots ces avantages et ces progrès.

On sait que la puissance d'une transmission par courant alternatif s'exprime, en général, par le logarithme népérien du rapport des intensités à l'émission et à la réception, l'extrémité étant fermée sur l'impédance image de la ligne; on l'exprime en népers. Une transmission parfaite, sans déperdition, correspond à 0 néper. L'extrême limite de perception entre 2 opérateurs se servant d'excellents appareils dans une salle silencieuse, est de 4,8 népers.

Il a y 15 ans, on était satisfait quand un grand circuit (par exemple Paris-Marseille), donnait un équivalent de 2,5 népers 4. Sur les câbles, depuis le début, on n'a pas dépassé 1,3 et l'on arrive maintenant facilement à 1 néper.

Les premiers techniciens de la téléphonie pensaient qu'il suffisait de transmettre les fréquences comprises entre 300 et 1 200 p:s pour que la parole fût comprise. Sur les câbles on a admis au début, la limite supérieure de 2 000. Bien que le public en soit satisfait, on veut faire mieux et on porte maintenant à 2 400 cette limite.

Pour les longues lignes où on veut la netteté maxima, on peut aller jusqu'à 3 000 et pour la transmission radiophonique, à laquelle le fil prête de plus en plus son concours sur de grandes distances, cette limite est élevée encore à 10 000. La téléphotographie demande 30 000 p:s et la télévision ira plus loin encore. Les câbles permettront de satisfaire à leurs exigences.

La déformation des lignes est corrigée d'une façon très soignée sur toute l'étendue de la bande de fréquences à transmettre.

Pour les très longues distances, on a pu éviter les effets d'écho; le trainage et la distorsion dûs aux phénomènes transitoires, sont combattus efficacement par la réduction de la charge ou par des dispositifs compensateurs.

Au point de vue économique, l'emploi du système à 2 fils, moins coûteux, qui semblait, il y a 4 ans, limité à 300 ou 300 km, a pu être étendu en France jusqu'à 650 km environ avec 5 répéteurs.

La diaphonie, c'est-à-dire l'influence réciproque entre circuits d'un même câble, est réduite constamment par les perfectionnements apportés à la construction et à la jonction des câbles et des bobines.

Grâce à ces progrès, la liaison par câbles est réalisée aujourd'hui, ou va l'être incessamment, du Nord de l'Ecosse au centre de l'Italie, de la frontière hispano-française à la Suède, et à la Hongrie.

Les progrès de la radiophonie ayant permis des liaisons transcontinentales, la téléphonie pourra dans un avenir prochain relier entre elles toutes les régions principales du monde. D'ailleurs, malgré ces liaisons radiophoniques, la création de grands câbles téléphoniques sous-marins ne paraît pas inutile et des réalisations sont envisagées.

Au point de vue de l'exploitation, l'attente est réduite à un temps très court entre toutes les villes desservies par câbles. En France, le mode d'exploitation dit « à trafic direct » permet de donner les communications de l'espèce sans inscription ni rappel. On développe de plus en plus l'appel interurbain par cadran, qui permet à la téléphoniste de Rouen par exemple, sur demande d'un de ses abonnés, d'appeler directement un poste téléphonique du Havre (réseau automatique), sans faire intervenir d'opératrice dans cette ville.

Quoique l'installation de ces grands câbles, soit loin de poser des problèmes aussi compliqués que leur technique électrique, elle demande cependant, pour être faite rapidement et dans de bonnes conditions, un matériel important et bien étudié.

Les grandes artères aériennes sont, en général, placées le long de la voie ferrée, parce que les conventions leur réservent une place suffisante et que, au temps de leur établissement, la facilité de surveillance était plus grande. Au contraire, les lignes en câble sont établies le long des routes, plus courtes, plus rectilignes, plus faciles d'accès. La tranchée est faite, soit par des excavateurs (dont l'emploi est limité par la nature du sol ou par la largeur et la facilité d'accès des accotements) soit à main d'homme. D'ingénieux appareils forant un trou et déposant le câble au fur et à mesure ont été imaginés.

Le câble est déroulé au moyen de chariots automobiles à bras mobile qui le dépose dans la tranchée rectilignement et sans effort de nature à le fatiguer. Souvent on est forcé de le tirer, ce qui se fait au moyen de treuils fixés sur des camions.

Le câble Bordeaux-Toulouse traverse, de La Réole à Moissac, la plaine garonnaise et la grande route dont l'emprunt semblait indiqué

est largement inondée chaque année. De plus, elle coupe de très nombreuses fois en P.N. la voie ferrée qui sera sans doute électrifiée dans un délai restreint et dont les passages, en tous cas, seront probablement modifiés. Pour toutes ces raisons, l'Administration des P.T.T. a préféré utiliser sur 75 km les bords du canal latéral à la Garonne (prolongement du canal du Midi) qui se trouve, entre La Réole et Agen, sur la rive sud de la Garonne et notablement surélevé.

A vrai dire, le canal, comme on le sait, n'a pas échappé à l'inondation et la photographie (fig. 2) montre l'état dans lequel il s'est trouvé immédiatement après.



Fig. 2.

Mais des accidents d'une violence aussi grande sont heureusement fort rares et le tracé choisi échappe aux crues ordinaires qui empêcheraient chaque année, pendant plusieurs jours, la possibilité de réparations.

L'accotement le long du canal étant très étroit, il n'était pas possible d'y faire emploi d'un excavateur, la tranchée a dû être faite à main-d'homme. Il ne pouvait non plus être question de voiture automobile pour le déroulage. On a donc chargé les tourets de câble à raison de 13 par chargement (soit 3 km) sur une péniche. Un seul endroit entre La Réole et Agen se prêtait à la manutention. Il fallait donc de là que la péniche portât les tourets sur des parcours allant jusqu'à 40 km. L'équilibre de la péniche imposait de grandes précautions dans la manœuvre de ces tourets.

Le déroulage se faisait sur la péniche même, à l'aide d'un bras porteur orientable constitué par un tuyau muni de poulies fixées à des fenêtres et pénétrant à l'intérieur pour faciliter le glissement et éviter le frottement contre les parois. Le film montre la régularité avec laquelle ce déroulage s'effectue.

La péniche, pour cette opération, était tirée, soit par des mulets ou des bœufs, soit, quand c'était possible, par des tracteurs; le passage sous les ponts ou près des écluses, à cause de l'étroitesse des passages et la rapidité des changements de directions, constituait des points difficiles imposant des précautions minutieuses (fig. 3).

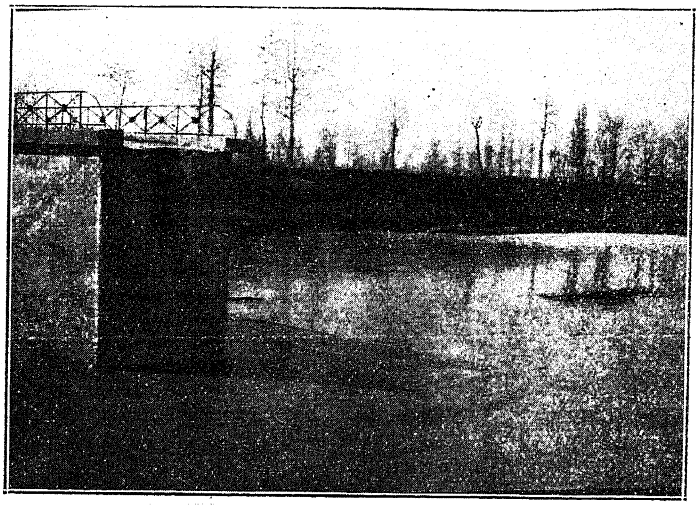


Fig. 3.

En vous présentant visuellement certaines particularités de pose d'un des câbles français à longue distance, mon but a été surtout de vous préciser ce que sont ces câbles, les services qu'ils rendent actuellement et de vous faire entrevoir ceux qu'ils rendront dans l'avenir.

SEMAINE DE DISCUSSIONS DE NOVEMBRE 1930

COMPTE RENDU STÉNOGRAPHIQUE DES DISCUSSIONS

(SUITE)

Séance du Samedi 29 novembre 1930.

5e SECTION. — TÉLÉGRAPHIE. — TÉLÉPHONIE. TRANSMISSIONS PAR ONDES

SOMMAIRE.

Présidence de M. REYNAUD-BONIN,

Directeur de l'Exploitation Téléphonique de Paris.

M. DI PACE donne lecture de son rapport sur : *Vue d'ensemble sur l'emploi du matériel automatique dans les réseaux téléphoniques ruraux* (1).

M. DE LANOUVELLE. — Je tiens à dire quelques mots pour indiquer l'intérêt que je porte à toutes les questions de téléphonie rurale, qu'il

(1) *Bulletin de la Société Française des Electriciens*, 4e Série, t. X, n° 119, octobre 1930, p. 1105.

s'agisse de résoudre le problème avec un système semi-automatique ou avec un système automatique intégral.

J'ai lu avec le plus grand intérêt l'article publié dans le *Bulletin de la Société Française des Électriciens*, par M. Di Pace et je partage son point de vue sur la question.

Je pense avec lui que le système semi-automatique rural des P.T.T. français, convient particulièrement bien pour une région dont la population téléphonique est peu dense, où le trafic est très peu actif et où la plupart de ce trafic est dirigé vers le centre du réseau.

En effet, dans un pareil cas, le réseau peut être conservé tel qu'il est ; aucune construction de lignes nouvelles pour doubler les jonctions existantes n'est nécessaire ; enfin aucun changement de postes téléphoniques n'est à faire chez les abonnés qui conservent tels quels leurs postes à magnéto existants.

Ce système est donc particulièrement économique et permet de résoudre le problème actuellement le plus urgent pour la campagne, qui est d'obtenir les villes voisines et les circuits interurbains 24 heures par jour, y compris les dimanches et fêtes.

Je pense également avec M. Di Pace que le système semi automatique rural devient une solution imparfaite du problème, dès que l'on a à traiter des régions à population téléphonique plus dense, à trafic appréciable, et non exclusivement dirigé vers le centre du réseau, telles que, par exemple, les régions qui avoisinent les grandes villes.

Dans ce cas-là, le système rural automatique intégral avec postes d'abonné munis de cadran d'appel, tel qu'il est appliqué actuellement dans plusieurs pays européens, est en effet, plus indiqué.

Rappelons que le système rural automatique intégral, appliqué, autour d'une grande ville à une région d'une certaine étendue, présente les avantages suivants :

1° Possibilité de décentraliser le réseau en le subdivisant en un certain nombre de secteurs locaux, comportant chacun plusieurs localités voisines, ayant entre elles un trafic intérieur appréciable.

L'avantage de cette décentralisation du réseau, est de permettre aux abonnés des différentes localités faisant partie du même secteur local, de communiquer ensemble sans faire intervenir le centre du réseau ni les jonctions reliant le centre local au centre du réseau.

2° Possibilité en cas d'appels simultanés de plusieurs abonnés vers le centre local ou vers le centre du réseau, d'écouler ces appels sans délai d'attente, sous la seule réserve que le nombre des jonctions et

des organes, soit calculé d'après les barèmes en usage dans la téléphonie automatique.

Dans un système semi-automatique établi dans les mêmes conditions, tous les appels étant centralisés par l'opératrice semi-automatique du centre de réseau qui ne peut traiter qu'un seul appel à la fois, chaque appel doit attendre que l'appel précédent ait été servi par la téléphoniste avant d'être desservi lui-même.

3° Cette rapidité de service qui s'observe à l'heure de pointe est également observée intégralement aux heures de faible trafic, la nuit et le dimanche, tandis qu'il est un fait bien connu de l'exploitation des bureaux manuels ou semi-automatiques qu'une opératrice de nuit ou du dimanche recevant des appels très espacés ne peut pas pratiquement conserver une attention incessante pendant de longues heures d'inactivité et se trouve parfois prise au dépourvu par l'arrivée inopinée d'un appel.

4° En cas de dérangement quel qu'il soit, dans le système rural automatique intégral, l'agent mécanicien responsable du fonctionnement du réseau, fait intervenir ses agents sans délai, alors que dans un système semi-automatique, l'expérience montre que la plupart des irrégularités signalées entraînent une étude préalable pour déterminer s'il y a faute du mécanisme ou faute du personnel manipulant.

5° Les réseaux ruraux en automatique intégral, permettent de réunir au même central interurbain un plus grand nombre d'abonnés.

C'est ainsi que dans le réseau régional automatique de Zurich par exemple, les opératrices interurbaines pourront atteindre sans aucun intermédiaire humain 10 000 abonnés ruraux, dès la mise en service du réseau et 40 000 lors de son développement ultime. Un tel résultat n'est pas possible avec un système semi-automatique, car il amènerait à prévoir au centre du réseau un nombre d'opératrices comparable à celui que nécessiterait le système semi-automatique urbain, dont les frais d'exploitation élevés ont entraîné l'abandon.

En résumé, je pense avec l'auteur de l'article faisant l'objet de notre discussion que chacun des deux systèmes envisagés a son utilité et son champ d'action propres dans la réorganisation de la téléphonie à la campagne, telle qu'elle est envisagée.

Autour de chacun des centres téléphoniques principaux du territoire français, reliés entre eux par des câbles souterrains à grande distance, il paraît tout indiqué d'établir un réseau rural automatique intégral, couvrant une région de 25 à 30 km de rayon.

Ces réseaux régionaux automatiques permettront d'éliminer des grands centres interurbains, les petites lignes interurbaines à courte distance et à faible trafic, dont l'exploitation sous forme interurbaine est peu rémunératrice et immobilise inutilement un grand nombre de positions interurbaines.

Ces positions étant supprimées, les relations de voisinage qu'elles assuraient seront réalisées dans de meilleures conditions par l'équipement régional automatique intégral par comptage multiple proportionnel au temps et à la distance que comporte ce système.

Ces réseaux régionaux automatiques permettront en outre de spécialiser les opératrices interurbaines des grands centres à l'exploitation des circuits interurbains à grande distance dans leurs relations avec les localités du réseau régional envisagé.

Dans les régions éloignées des grands centres téléphoniques, régions comportant généralement une population téléphonique peu dense et un trafic peu élevé, le système semi-automatique paraît devoir présenter des avantages économiques suffisants pour motiver son adoption.

Il y aura lieu cependant, pour ne pas engager l'avenir et permettre à la région envisagée de se développer téléphoniquement, tant au point de vue du nombre des abonnés que de l'importance du trafic, de prévoir, le cas échéant, la transformation facile en automatique intégral du réseau semi-automatique envisagé. Un système rural semi-automatique ne pouvant être considéré que comme une solution transitoire.

Les considérations qui précèdent nous amènent à souligner l'intérêt que présente la mise en expérimentation prochaine des réseaux régionaux automatiques, projetée par l'administration autour de quelques grands centres.

L'examen critique des résultats obtenus, comparés aux mêmes donnés résultant de l'expérimentation en cours des divers réseaux semi automatiques pour régions rurales, permettra, sans nul doute, d'établir un programme définitif et détaillé de réorganisation du réseau rural français, partie en semi-automatique, transformable en automatique intégral pour les régions véritablement rurales, et partie en automatique intégral pour les régions avoisinant les grandes villes.

Un tel réseau ainsi constitué comportera les avantages suivants :

1° Service rapide et uniforme entre tous les abonnés urbains et ruraux du territoire français ;

2° Prolongation de ce service universel, rapide et uniforme, la nuit, le dimanche et les jours fériés ;

3° Accroissement du nombre des abonnés ruraux, attirés par les avantages du nouveau mode d'exploitation et en dernière analyse du trafic interurbain à grande distance, particulièrement rémunérateur.

M. Chauveau. — Par son exposé clair et précis, M. Di Pace ingénieur en chef des P.T.T. vous a montré le problème du téléphone rural français. Il vous a dit pourquoi il était impossible d'utiliser en France un dispositif automatique existant, et, en esquissant les solutions apportées il vous a fait toucher du doigt les difficultés rencontrées par les constructeurs et les inventeurs des systèmes en présence, difficultés telles qu'il a fallu trois années d'efforts pour arriver à un premier résultat.

Etant moi-même l'inventeur d'un des systèmes de téléphonie rurale spécialement conçu pour notre réseau national, je crois devoir profiter de l'occasion qui m'est offerte par cette discussion placée sous les auspices de la Société Française des Electriciens, pour donner un avis sur cette question.

Cet avis, strictement personnel du reste, je suis heureux de pouvoir le formuler publiquement devant les représentants de l'Administration des P.T.T., puisqu'il s'adresse à cette Administration. Cet avis le voici :

Si, pour le problème du rural comme pour tout autre problème du reste, vous avez à choisir entre des systèmes américains, des systèmes allemands ou des systèmes français d'égale valeur vous devez choisir les systèmes français.

Je ne crois pas énoncer là un paradoxe, mais bien une vérité première.

Je ne veux cependant pas terminer cette intervention sans reconnaître que j'ai toujours reçu le plus aimable accueil auprès de l'Administration et je suis heureux de profiter de l'occasion qui m'est offerte ici pour remercier M. Di Pace et ses collaborateurs de l'attention toujours extrêmement bienveillante qu'ils ont bien voulu porter à mes projets.

M. Laporte. — Je demande la permission d'ajouter quelques mots à l'intéressante communication qui vient d'être faite et qui traite des systèmes automatiques employant les lignes téléphoniques ordinaires ; j'ai l'intention de parler du téléphone automatique assez spécial utilisé avec les ondes dirigées sur les lignes de transport.

Vous savez, en effet que, depuis quelque temps, les exploitants de lignes de transport d'énergie utilisent la téléphonie par courant à haute fréquence circulant sur les mêmes fils que la ligne de transport elle-même. C'est une solution extrêmement pratique puisqu'elle a

l'avantage d'utiliser des conducteurs très robustes, alors que, sans vouloir dire du mal des lignes aériennes de l'Administration des P. T. T., on est obligé de reconnaître que, surtout pendant l'hiver, les fils de ses lignes aériennes se brisent quelquefois et interrompent les communications alors, qu'au contraire, les conducteurs des lignes de transport d'énergie, surtout pour les grandes lignes, restent intacts.

Ayant eu à m'occuper dernièrement de ce genre d'installation de téléphonie par ondes dirigées, j'ai cherché quel matériel était disponible. J'ai trouvé en concurrence le matériel de constructeurs italiens, allemands, américains, en regard desquels n'existe pour ainsi dire aucun matériel construit en France.

Il en résulte que les Sociétés de transport, si cette situation continue, se trouveront obligées de confier leurs commandes uniquement à des constructeurs étrangers. Il m'a donc semblé utile d'attirer l'attention de nos constructeurs sur ce genre de matériel de téléphonie automatique, en faisant remarquer qu'il y a un intérêt général à organiser sa construction en France : en effet, un véritable réseau téléphonique national, utilisant les grandes lignes de transport d'énergie est en train de se créer et il serait vraiment dommage qu'un pareil réseau fût établi uniquement avec du matériel construit à l'étranger.

Je serais d'ailleurs très heureux si, parmi les ingénieurs présents à cette réunion, l'un deux pouvait me dire que j'ai commis une erreur et me signaler un système de téléphonie par ondes dirigées construit en France et ayant fait ses preuves.

M. Reynaud-Bonin. — Je remercie M. Di Pace de son très intéressant exposé sur la téléphonie automatique dans les réseaux ruraux, ainsi que les membres de la Société qui ont pris part à la discussion, M. de Lanouvelle, M. Chauveau, M. Laporte, M. Cahen.

Je n'ai pas ici à intervenir pour les questions d'industrie, parce que nous sommes essentiellement une société savante, et nous devons rester plus spécialement dans ce rôle. Mais en ce qui concerne la technique des installations rurales, il est, je crois, à peu près certain que M. Di Pace dans son exposé n'est pas en désaccord avec M. de Lanouvelle. Bien que l'on puisse peut-être souhaiter que l'on ne fasse pas au voisinage des grandes villes, du rural qui ne puisse devenir de l'automatique intégral.

Le téléphone automatique rural sera certainement une grande transformation du réseau français et les problèmes techniques très curieux qui se posent à ce sujet sont en grande partie résolus. D'autres se poseront encore

notamment pour la commande des automatiques à grande distance par les circuits téléphoniques du réseau interurbain. Nous assisterons certainement, dans les années qui vont venir, à une révolution complète de l'organisation téléphonique dans notre pays et dans les pays voisins.

M. PRACHE présente son rapport sur *le Développement des câbles à grande distance en France* (1).

M. CAHEN. — Vous savez tous que M. PRACHE a joué un rôle très important dans la préparation du réseau dont il vient de nous indiquer l'évolution. Cette évolution qui se poursuit à l'heure actuelle, a été extrêmement rapide et je voudrais simplement formuler à ce sujet quelques observations.

Au début on employait, ainsi que le disait M. PRACHE, trois systèmes de circuits : circuit à deux fils, à 4 fils charge lourde, à 4 fils charge légère. A l'heure actuelle, il est à peu près universellement admis que le système 4 fils, charge lourde, a fait son temps pour les raisons qu'a très clairement indiquées M. PRACHE.

D'autre part, la question du nombre de circuits à mettre dans un câble est extrêmement importante ; il est certain qu'elle n'a pas dans toutes les directions et dans tous les pays la même solution. Lorsqu'il s'agit de relier des régions très denses, Paris et Lyon, ou Paris et Lille, plus on peut mettre de communications dans un câble mieux cela vaut. Il suffit pour le prouver de savoir que trois ans à peine après qu'on a eu posé le premier câble Paris-Lille, et moins de trois ans après celui de Paris-Lyon, les programmes administratifs du budget prévoient le doublement de ces câbles et cela ne suffira sans doute pas très longtemps. Depuis la mise en service, le nombre des communications Paris-Lille a triplé entre Paris et Lille.

C'est donc que les besoins sont énormes, d'où résulte le très grand intérêt des câbles à très grand nombre de fils.

D'autre part, au point de vue de la technique pure, il se produit un certain nombre de difficultés. Actuellement, il y a une espèce de crise de croissance des câbles, qui provient de ce qu'ils ont donné des résultats plutôt meilleurs que ceux qu'on attendait : plus on a, plus on est exigeant, c'est naturel.

(1) *Bulletin de la Société Française des Electriciens*, 4e Série, t. X, n° 111, novembre 1930, p. 1178.

M. Prache a dit que lorsqu'on transmettait jusqu'à 2000 périodes par seconde, on arrivait à une intelligibilité suffisante, c'est-à-dire ne donnant pas souvent lieu à réclamations. Les réclamations sont quelque chose d'assez difficile à interpréter, il y a toujours des abonnés qui se plaignent. Il n'est pas toujours aisé de définir si c'est de la faute du câble, des appareils, ou de la manière dont on téléphone. Par conséquent, il est difficile de fixer avec précision le coefficient d'intelligibilité au-dessous duquel on peut descendre.

Il y a eu, depuis plusieurs années, des discussions assez vives et très intéressantes, pour savoir si la limite de 2000 périodes par seconde, dont on s'était contenté jusqu'à présent, était suffisante. On a opposé la netteté à l'intelligibilité. On mesure la netteté par la proportion de syllabes dépourvues de sens reçues correctement : c'est le résultat d'impressions physiologiques dans lesquelles l'esprit n'intervient pas. L'intelligibilité est plus difficile à mesurer ; c'est le coefficient de compréhension, sans erreur, de conversations courantes, elle dépend de la vivacité d'esprit des interlocuteurs, de l'habitude qu'ils ont de causer ensemble. Dans la majorité des cas, l'intelligibilité demande une transmission beaucoup moins bonne que la netteté définie ci-dessus, il suffit que la grande majorité des sons soient correctement transmis pour que l'esprit complète les lacunes. Un coefficient de 80 pour cent d'intelligibilité ne correspond guère, en moyenne, qu'à 60 pour cent de netteté.

Après de longues discussions, on s'achemine, en général, vers l'élévation de la limite supérieure des fréquences à transmettre. On la portera à 2300 ou même 2400 périodes. Il faut pour cela augmenter la fréquence de coupure des lignes pupinisées ; si l'on veut transmettre jusqu'à 2500, il faut au moins 3600 pour la fréquence de coupure de la ligne au lieu de 2900 actuellement.

On a proposé, pour augmenter la fréquence de coupure de la ligne deux méthodes différentes, déjà adoptées dans plusieurs pays. La première consiste à diminuer un peu la charge et à rapprocher les bobines l'une de l'autre, de façon à garder, avec le même calibre de fils, le même affaiblissement de la ligne, et à avoir, par conséquent le même espacement des stations de relais qu'auparavant.

La deuxième solution consiste à diminuer beaucoup la charge unitaire et à garder le même espacement des bobines. Cela oblige soit à augmenter le diamètre des fils, soit à rapprocher les stations de relais. Cette dernière solution s'impose sur les directions très chargées. A l'heure actuelle, on en est encore au début de l'application de ces changements ; il n'est peut être pas nécessaire de standardiser trop étroite-

ment. L'expérimentation est très difficile ; il faut avoir déjà posé des câbles très longs pour se rendre compte de l'effet véritable produit. Il serait donc imprudent de fixer trop vite et trop rigidement les modalités d'applications des principes généraux posés. Les discussions sur la standardisation remontent en cette matière à de très longues années ; pour qu'on puisse avoir dans un réseau international de bonnes communications, il faut uniformiser un certain nombre de caractéristiques électriques.

A quoi servirait-il de placer dans un câble tel que Paris-Strasbourg des lignes destinées aux très longues distances et transmettant jusqu'à 2800 p:s., si au delà de Paris ou au delà de Strasbourg, les lignes de prolongement ne transmettent que jusqu'à 2000? Il faut qu'on se soit mis d'accord sur la bande de fréquence qu'on veut transmettre.

Mais, il n'est peut être pas nécessaire de standardiser les moyens par lesquels on peut obtenir ces résultats. Je crois que la plupart des pays arrivent à la conclusion que la normalisation n'a pas besoin d'entrer dans le plus grand détail, qu'il n'y a pas lieu par exemple, de fixer le diamètre des fils qui avait été considéré au début comme un élément important de la standardisation. On y renonce de plus en plus, chaque pays adopte pour ses différents câbles quelques diamètres types, en France 1,3 mm, 1,2 mm, 0,9 mm pour que les stations d'amplification puissent être placées, en des points satisfaisants.

En tous cas, actuellement, il y a une tendance à changer un peu les caractéristiques des câbles de façon à améliorer la netteté par l'élévation des fréquences de coupure, ceci ne changeant d'ailleurs pas grand chose au reste des lignes. L'avantage sera forcément acquis au prix d'une augmentation de dépenses ; il est évident que ce sacrifice n'aura d'intérêt que si les réseaux urbains et les appareils donnent une netteté du même ordre.

M. Deloraine présente sa communication sur *Les tendances actuelles dans l'étude des radiorécepteurs commerciaux* (1).

M. Reynaud-Bonin. — Je remercie Deloraine pour sa communication extrêmement intéressante, qui non seulement nous avait paru telle dans le *Bulletin de la Société*, à la lecture, mais qu'il a encore augmentée

(1) *Bulletin de la Société Française des Electriciens*, 4e Série, t. X, no 109, septembre 1930, p. 965.

en séance de considérations que nous avons suivies comme étant certainement les meilleures qui pouvaient être faites en la matière pour l'avenir de l'évolution des appareils de réception.

M. VAN MIERLO donne lecture de son rapport : *Récentes études sur les relais électromagnétiques employés en téléphonie* (1).

M. CHAUVEAU. — M. DI PACE nous a dit tout à l'heure que le matériel normal du téléphone automatique des grandes villes ne convient pas toujours pour le rural pour lequel il faut du matériel très robuste.

Or le contact peut être considéré d'après M. VAN MIERLO lui-même comme la pierre d'achoppement du relais, il en est le point essentiel et vital ; c'est pourquoi j'estime qu'il serait important pour l'industrie téléphonique de voir définir en quelque sorte le « contact standard ».

1° Composition.

2° Course.

3° Pression.

1° *Composition* point assez connu, cahiers des charges d'Epinal, dessins ou nomenclatures P.T.T. fixent en général un alliage *standard* 10 pour cent or 90 pour cent argent.

2° *Course* 10 à 30 pour cent de millimètres pour les relais présentés par M. VAN MIERLO, je préfère en pratique 50 à 100 pour cent de *millimètres* pour des raisons de sécurité.

3° *Pression* 8 à 15 grammes pour les relais type E présentés par M. VAN MIERLO ; mais quelle est la pression pour les relais type B C, ou 196 pour lesquels M. VAN MIERLO indique que les pressions de contacts sont très faibles ?

Pourtant cette question de pression me paraît la plus importante puisque M. VAN MIERLO lui-même signale que, la résistance de contact pour une pression de 8 à 15 grammes est de l'ordre des quelques centièmes d'ohms, elle augmente avec l'usure et pour des pressions très faibles, on peut observer des résistances très élevées.

Je crois avoir une certaine expérience des relais téléphoniques et tout particulièrement en ce qui concerne leur utilisation dans les conditions de travail difficile à bord des navires par exemple ; j'estime que

---

(1) *Bulletin de la Société Française des Electriciens*, 4e Série, t. X, n° 109, septembre 1930, p. 973.

si la pression de 8 à 15 grammes peut être tolérée dans une installation automatique de grande ville qui est constamment surveillée et entretenue, elle est insuffisante pour les installations automatiques rurales dont la surveillance sera difficile et qui devront fonctionner à des régimes hygrométriques très variables. Pour ma part je me suis efforcé d'obtenir sur les relais destinés à l'automatique rural des pressions de contacts comprises entre 20 et 30 grammes.

Mais alors il faut envisager évidemment la question. Prix de revient : un relais type E qui peut être équipé avec 12 ressorts, représente 6 contacts, soit une pression moyenne totale de 60 grammes ; il peut être établi à un prix peu élevé. Si nos contacts sont chargés à 25 grammes, la pression moyenne totale sera de 150 grammes, dans ce cas il est certain qu'il sera nécessaire d'utiliser une partie magnétique et un bobinage plus important d'où augmentation du prix du relais.

Dans l'automatique rural, il est fait un grand usage de relais, il apparaît donc comme du plus haut intérêt pour les constructeurs d'être fixé sur ce que j'appelais tout à l'heure « le contact standard » défini par sa composition, sa course, sa pression.

Je ne crois pas que jusqu'ici l'administration des P.T.T. ait pris position à ce sujet, je lui demanderai donc de bien vouloir étudier cette question, la réponse étant susceptible de modifier le prix de revient global des installations automatiques rurales.

Peut-être pourra-t-on faire plus tard, une définition, avec plus d'expérience. Le jour où l'administration dirait aux constructeurs : « Je peux accepter des relais à 16 grammes à telles conditions... » il est évident que les relais, au lieu de revenir à 30 francs, reviendraient à beaucoup moins chers. L'administration réalisera un bénéfice. C'est pourquoi il serait très intéressant qu'elle fasse connaître son point de vue aux différents constructeurs.

M. Van Mierlo. — J'ai indiqué une pression de 8 à 15 gr. Il est entendu que ceci s'applique aux conditions normales. M. Chauveau a parlé de navires ; dans ce cas il y a des vibrations et il est évident qu'on mettrait plus de 15 gr. ; il faudrait, peut-être, 30 ou 50 gr. Mais pour les bureaux automatiques ordinaires où il n'y a pas de conditions spéciales, et où les relais ne sont pas soumis à des vibrations intenses, de longs essais ont montré que 15 gr. (en réalité, on met

très souvent 20 gr.) sont suffisants dans la plupart des cas pour le platine ou des alliages spéciaux. La pratique seule peut montrer qu'une pression donnée dans un circuit donné est suffisante ou non pour commander un appareil donné. Il ne serait pas économique de dépasser cette pression-là. Donc, si l'on veut spécifier la pression, il faut considérer toutes les influences ; un grand point, par exemple, est l'appareil commandé. Dans certains cas, quand il s'agit de fermer un courant assez faible, et si la résistance de contact n'est pas très importante, on peut se contenter peut-être de 10 gr. Quand il s'agit de mettre en marche un appareil avec électro-aimant qui prend assez bien de courant, il faut peut-être 20 gr.

Donc la question est assez complexe. Il est cependant désirable de préciser autant que possible de façon que tous les constructeurs soient mis sur le même pied.

M. Chauveau. — En tous cas, il est désirable que, pour les installations rurales qui nécessitent des centraux robustes susceptibles d'être abandonnés longuement et travaillant dans des conditions souvent plus dures que celles rencontrées à bord des navires, l'administration tienne compte de la robustesse pour la comparaison des différents systèmes.

M. Collet. — Jusqu'à quel point l'indication de la pression de contact est-elle suffisante ? L'essentiel est d'assurer un bon contact, et cela ne dépend-il pas de beaucoup de facteurs, notamment de la qualité des surfaces en présence, de leur nature, et de la manière dont le ressort mobile vient s'appliquer sur la partie fixe.

M. Reynaud-Bonin. — Les considérations développées par M. Collet semblent plutôt se rapporter à balai frotteur et non pas à un relais qui n'a qu'à appliquer des ressorts l'un sur l'autre.

TRAVAUX DES SECTIONS

UN NOUVEAU DISPOSITIF DE PROTECTION CONTRE LES SURTENSIONS DES RÉSEAUX ET INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES A BASSE TENSION (1)

par M. Teszner,

Ingénieur aux Etablissements Merlin et Gerin.

Préambule.

Les accidents fréquents et graves provoqués au cours de ces dernières années par les surtensions, se manifestant sur les réseaux rureaux et dues soit aux coups de foudre, directs ou « indirects, » soit au contact accidentel entre la haute et la basse tension, ont mis à l'ordre du jour la question de la protection des réseaux et installations électriques à basse tension.

Il serait inutile de répéter ici les considérations générales relatives à ce problème, considérations qui ont été déjà développées maintes fois auparavant. La nécessité de la protection n'est actuellement contestée nulle part et si son emploi ne s'est pas généralisé, c'est peut-être surtout parce qu'il manquait jusqu'ici d'appareils résolvant entièrement le problème. Ceci s'explique par les difficultés qu'offre sa solution complète, difficultés qui résident particulièrement dans l'incompatibilité, du moins apparente, de diverses conditions qu'il y a lieu de remplir pour assurer une protection effective et efficace.

Afin de poser la question, nous aborderons notre étude par l'énumération et la justification rapide des dites conditions.

Position du problème.

Les conditions principales auxquelles devra satisfaire un apppareil de protection d'installations à basse tension sont les suivantes :

1° La limitation nette de la tension de l'installation à une valeur estimée non dangereuse ;

(1) Communication présentée à la séance du 18 décembre 1930 de la 4e Section.

2° La tension très basse d'amorçage;

3° La faculté du désamorçage de l'appareil dès la disparition de la surtension.

En outre, afin que l'emploi d'un tel appareil puisse être généralisé même dans des installations de faible importance (petites installations des abonnés ruraux) et que son installation soit commode et non onéreuse, il faut :

4° Que son encombrement soit aussi faible que possible;

5° Qu'il puisse être placé dans n'importe quel endroit et dans n'importe quelle position;

6° Que son prix soit très réduit.

Au sujet des conditions secondaires que nous avons indiquées, toute discussion nous paraît superflue; par contre, les conditions principales demandent un examen assez détaillé.

Nous les considérerons donc une à une, aussi brièvement que possible.

1° *La limitation de la tension.*

Le facteur de sécurité excessivement élevé des isolateurs de ligne d'un réseau à basse tension impose des conditions particulièrement dures à un appareil de protection du poste, ou, à plus forte raison, de l'installation. En effet, il ne suffit plus dans ce cas, comme dans un réseau à haute tension, de réduire l'amplitude de la surtension à 20 pour cent, ni même à 10 pour cent pour être à l'abri de tout danger de claquage et, ce qui importe le plus, des accidents humains. La tension de contournement des isolateurs étant égale à 100 ou même souvent 200 fois la tension de service, il faut, pour assurer la sécurité complète de l'installation, abaisser la surtension à 0,01 de sa valeur initiale. On conçoit facilement que l'appareil de protection, afin de pouvoir agir efficacement, devra avoir une résistance de décharge très faible et cela, non seulement par rapport à l'impédance d'onde de la ligne (qui est assez élevée), mais aussi par rapport à l'impédance de service de celle-ci (qui peut être très réduite, puisqu'elle dépend de la longueur de la ligne).

Ce dernier point mérite quelques explications. On pourrait s'étonner que dans un problème de surtension, phénomènes qu'on est habitué de considérer comme essentiellement transitoires et de très courte durée), on introduit une caractéristique du régime stable du réseau, qui est son impédance de service. Mais il ne faut point oublier que les surtensions dans des réseaux à basse tension présentent certaines particularités, nouvelles en cette matière, du fait qu'elles peuvent être dues à un con-

tact accidentel entre la haute et basse tension, et en conséquence, engendrées par une source d'énergie pratiquement illimitée. Le régime stable pourra donc parfaitement s'établir et, malgré cela, la surtension subsistera sans aucune diminution notable de sa valeur.

Il faut donc, répétons-le, pour assurer une protection effective de l'installation, que l'appareil destiné à cet effet ait une résistance de décharge très faible par rapport à l'impédance de service du tronçon de ligne, séparant l'installation ou le poste de la source de la surtension. Cette impédance pouvant elle-même être très réduite, il est évident que seul un appareil, réalisant par son amorçage une mise à la terre aussi franche que possible de l'installation, pourra assurer *une limitation nette de la tension* de celle-ci et répondre ainsi au but proposé.

2° *La tension très basse d'amorçage.*

Cependant, il serait inutile de limiter la tension, même à une valeur à peu près nulle, si celle de l'amorçage de l'appareil de protection était elle-même trop élevée. Malheureusement, ceci est le cas de la plupart des dispositifs existant sur le marché à l'heure actuelle.

Il est difficile de déterminer la valeur limite dangereuse que la tension d'une installation ne devra pas dépasser. En général, cependant, on la fixe aux environs de 500 V; nous ne donnons d'ailleurs ce chiffre que comme pur ordre de grandeur. Il peut sembler, *à priori*, facile d'assurer l'amorçage de l'appareil à partir de cette tension, même s'il doit provoquer une mise à la terre franche de l'installation. Il suffirait, pour cela, de régler ses électrodes en conséquence. Mais la difficulté apparaît à l'énoncé de la troisième condition, nécessaire à remplir pour assurer une protection effective, efficace et destinée à être généralisée sans nuire à la continuité de service. Cette condition est :

3° *La faculté de désamorçage de l'appareil dès la disparition de la surtension.*

Le problème de l'extinction de l'arc de décharge, alimenté après le passage de la surtension sous la tension et parcouru par le courant de service, a préoccupé de tout temps, tous les constructeurs de l'appareillage de protection contre les surtensions. S'il a été résolu assez bien dans certains dispositifs modernes à haute tension, il n'a pas jusqu'ici reçu de solution satisfaisante dans le domaine de l'appareillage à basse tension. En effet, on se trouve, dans ce cas, en présence d'autres conditions apparemment incompatibles avec le désamorçage de l'appareil et

qui sont : la tension très basse d'amorçage et la faculté de supporter un débit important consécutif à un court-circuit provoqué par le fonctionnement de l'appareil. La tension très basse d'amorçage imposant des distances excessivement réduites entre électrodes (1), d'où leur soudure inévitable et une mise à la terre *permanente* de l'installation à chaque fonctionnement de l'appareil.

Pour cette raison, on a sacrifié, dans l'étude des dispositifs envisagés, l'une des conditions considérées au profit de deux autres. Il existe notamment des appareils dont la tension d'amorçage est très réduite et qui assurent une mise à la terre franche de l'installation, dès qu'une surtension apparait, toutefois, ils ne se désamorcent pas ensuite et nécessitent une intervention du personnel de la Société de distribution d'énergie, après chaque fonctionnement (ces dispositifs devant être nécessairement plombés). Cette sujétion, très grave en réalité, suffit pour empêcher toute généralisation d'emploi d'un tel dispositif de protection.

D'autres appareils, par contre, assurent une extinction de l'arc de décharge malgré un débit relativement important; cependant, leur tension d'amorçage est sensiblement trop élevée pour qu'on puisse parler d'une protection effective.

C'est donc une solution complète du problème qui restait à trouver et c'est dans ce but que nous avons entrepris des recherches, qui ont abouti dernièrement à la réalisation d'un appareil dont nous allons indiquer successivement le principe et certains détails caractéristiques d'exécution, ainsi que les résultats d'essais.

Limiteur de tension a excitation interne pour réseaux a basse tension.

Pour permettre l'écoulement d'un débit important et, malgré cela, assurer l'extinction sûre et rapide de l'arc de décharge, tout en réduisant, dans la mesure du possible, la tension d'amorçage, il fallait tout d'abord, d'une part, réaliser un dispositif robuste, d'autre part, agir sur l'arc au moyen d'artifices spéciaux et particulièrement efficaces, malgré la distance faible entre électrodes et malgré les dimensions réduites de l'ensemble.

Nous nous sommes inspirés, dans cette partie de notre étude des dispositions adoptées dans nos nouveaux appareils à haute tension actuellement soit en construction, soit en cours d'essais. Toutefois, nous y

(1) En faisant abstraction des appareils dans l'air raréfié, séduisants par leur principe, mais qui, malheureusement, ne peuvent pas supporter un débit important.

avons apporté certaines modifications afin de tenir compte des particularités du problème de la protection des réseaux à basse tension, et notamment afin de diminuer la distance entre électrodes.

La partie essentielle de notre appareil est constituée par un éclateur principal (nous verrons par la suite, pourquoi nous l'appelons « principal ») branché directement entre ligne et terre. Ces électrodes sont réalisées de la façon suivante : l'une de celles-ci, reliée directement à la ligne, et en forme d'un tube de diamètre relativement grand, l'autre reliée directement à la terre, placée à l'intérieur de la précédente, a la forme d'une petite bague terminée par une dèmi-sphère et dont l'axe est perpendiculaire à l'axe du tube extérieur. La deuxième électrode est enfilée dans l'ouverture aménagée dans une cloison isolante également tubulaire, concentrique à l'électrode tubulaire, placée à l'intérieur de celle-ci et munie de collerettes assurant l'espacement entre les électrodes. L'électrode intérieure est munie d'une partie tubulaire suivant la surface de la cloison dans le but de séparer nettement le point d'amorçage de l'arc et celui où il subsiste, au cours de la période d'extinction.

L'extinction de l'arc est obtenue par un soufflage électro-dynamique très intense, assurant son allongement rapide et important, malgré les dimensions très restreintes de l'appareil, et cela grâce à la réalisation appropriée des électrodes. Le soufflage est engendré par deux bobines de self enroulées concentriquement et extérieurement, l'une au-dessus de l'autre, à l'électrode tubulaire, leur point commun étant relié à cette électrode. De la sorte, elles sont branchées en amont et à l'aval de l'éclateur principal et le champ magnétique qu'elles engendrent est toujours sensiblement en phase avec le courant dans l'arc. L'électrode tubulaire est fendue suivant une génératrice afin de ne pas constituer un circuit amortisseur; par contre, nous plaçons à l'intérieur de la cloison isolante un tube fermé afin de concentrer les lignes de forces magnétiques dans l'espace utile. Grâce à ce dernier artifice, nous avons pu obtenir un soufflage très intense avec un nombre relativement peu important de spires des bobines de self.

Le fonctionnement du dispositif est clair. L'arc amorcé entre l'extrémité de la demi-sphère et le tube extérieur est chassé immédiatement par la composante axiale du champ magnétique, ses appuis étant obligés de se déplacer, d'une part, sur l'électrode hémisphérique jusqu'à l'extrémité de la patte tubulaire, d'autre part, suivant la circonférence interne du tube jusqu'à son extinction. L'allongement de l'arc qu'il est possible d'obtenir, dans ce cas est sensiblement égal à πd, où d est le diamètre

du tube; de ce fait, nous avons pu doter notre appareil d'un pouvoir de coupure « relativement considérable : de 400 A sous 380 V alternatif pour un encombrement total ne dépassant pas 12 cm de diamètre. D'autre part, l'arc ne reste qu'infiniment peu de temps au point le plus rapproché entre les deux électrodes et il n'y a alors aucun danger de soudure de celles-ci ou de leur détérioration quelconque à l'endroit d'amorçage.

Ce résultat, quoique déjà fort intéressant et digne d'être souligné, ne

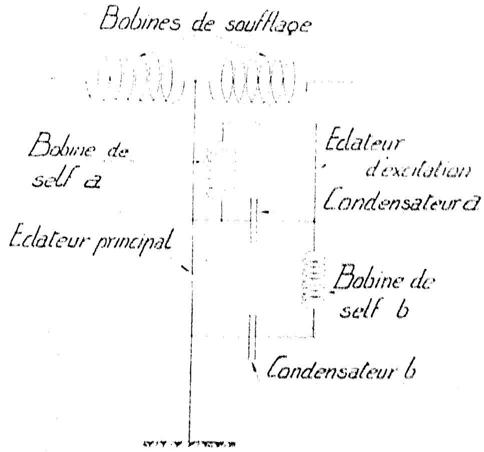


Fig. 1.

nous donnait, cependant, que la moitié de la solution du problème. En effet, pour permettre le soufflage de l'arc, et éviter la soudure entre électrodes, il n'était pas prudent, même avec ce dispositif, de diminuer la distance entre celles-ci sensiblement au-dessous d'un millimètre. Or, cette distance correspond à une tension d'amorçage de 3500 V qui est nettement trop élevée pour un appareil de protection de réseaux à basse tension et, surtout, d'installations d'abonnés.

Afin d'obvier à cet inconvénient, tout en conservant à l'appareil toute sa robustesse et son pouvoir de coupure, nous avons eu recours à l'artifice suivant : la tension transitoire appliquée aux bornes de l'éclateur principal est amplifiée, à condition, bien entendu, qu'elle dépasse une certaine valeur, mais sans qu'on soit, pour cela, obligé d'insérer un élément quelconque, pouvant gêner l'écoulement de la surtension, en série avec l'éclateur principal.

L'amplification est réalisée au moyen d'un genre d'auto-transformateur à haute fréquence, branché en parallèle sur l'éclateur principal. La

figure 1 donnant le schéma général de principe de notre appareil, indique un schéma type d'un tel auto-transformateur. Le circuit primaire est composé d'un condensateur A, d'une bobine de self A, constituant le côté basse-tension de l'auto-transformateur et d'un éclateur d'excitation réglé pour une tension d'amorçage excessivement basse (il est évident qu'on peut réduire au minimum la distance entre électrode de cet éclateur sans aucun risque de soudure de celles-ci, étant donné

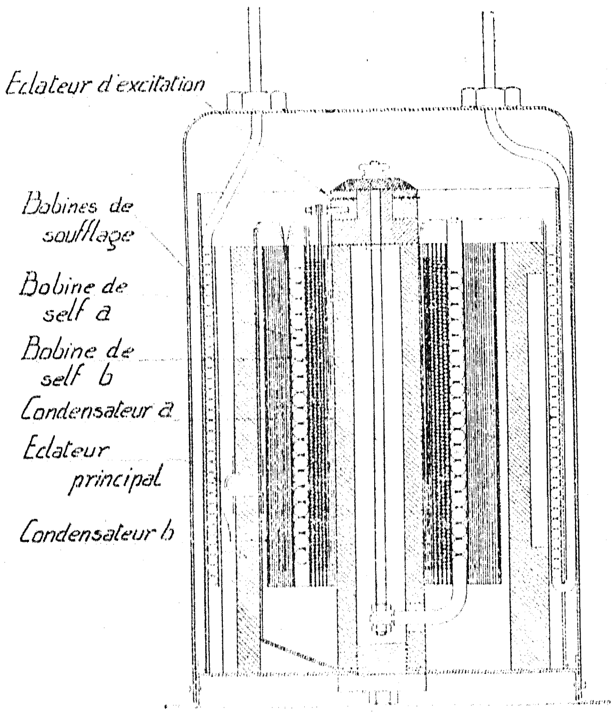


Fig. 2.

qu'il n'a à supporter qu'un débit très faible et de très courte durée, dû à la décharge du condensateur A). Le circuit secondaire est constitué par la bobine de self B, couplée magnétiquement avec la bobine A, et à nombre de spires sensiblement plus élevé (côté haute tension de l'auto-transformateur), les condensateurs A et B et l'éclateur principal. L'amplification dépend, bien entendu, non seulement du rapport des nombres de spires des bobines A et B, mais aussi du couplage magnétique, plus ou moins serré, entre celles-ci, de leurs capacités mutuelles, du rapport et des valeurs intrinsèques des capacités des condensateurs A et B, de la fréquence d'oscillation et, enfin, de l'amortissement inhérent aux circuits primaire et secondaire.

La solution analytique du problème est fort complexe, étant donné le nombre de facteurs qui entrent en jeu. Nous nous abstiendrons, en conséquence, de développer ici toutes considérations mathématiques et indiquerons simplement un résultat acquis après de nombreux essais, en nous réservant, dans une étude ultérieure, de revenir sur cette intéressante question. Avec un ensemble de circuits oscillants ne dépassant pas, comme encombrement total, 7 cm de diamètre et 12 cm de hauteur, nous avons pu obtenir un coefficient d'amplification d'environ 8, ce qui est déjà parfaitement suffisant. En effet, ceci nous a permis de réaliser un appareil s'amorçant pour une tension de l'ordre de 500 V, assurant une mise à la terre franche de l'installation de par son fonctionnement et, malgré cela, se désamorçant instantanément dès la disparition de la cause de son amorçage.

Il peut paraître, *à priori*, paradoxal de provoquer une surtension dans un appareil qui est justement destiné à protéger contre de tels phénomènes dangereux. Cependant, il ne faut pas oublier qu'en engendrant un phénomène, on est parfaitement maitre de ses caractéristiques et on peut alors adopter des dispositions, afin de le rendre absolument inoffensif pour l'installation à protéger.

Ainsi, en profitant de la présence des bobines de self à l'amont et surtout à l'aval de l'éclateur principal, nous avons choisi la fréquence propre des circuits oscillants de façon à assurer l'amorçage de l'éclateur principal avant qu'une surtension dangereuse puisse apparaître dans l'installation. En effet, il est évident que la disposition self-installation (la première ayant une impédance d'onde sensiblement plus élevée que la deuxième) ajourne, en quelque sorte, la pénétration de la surtension dans cette dernière, l'onde ne pouvant y atteindre sa pleine amplitude qu'à la suite d'un nombre assez important de réflexions et réfractions successives. En tous cas, pendant le premier aller et retour à l'éclateur de l'onde, le danger est absolument inexistant ; or, ce parcours correspond dans notre appareil à une durée de l'ordre de $2 \cdot 10^{-7}$ sec ; ensuite la surtension augmente par paliers, assez lentement d'ailleurs. Il suffirait en conséquence de choisir la fréquence propre de l'auto-transformateur aux environs d'un million de périodes (un quart de période en $2{,}5 \cdot 10^{-7}$ sec) pour que l'éclateur fonctionne avant que l'installation ait eu à subir une surtension quelque peu dangereuse.

De la sorte, les bobines de self jouent un double rôle : d'une part, elles assurent le soufflage électrodynamique de l'arc, d'autre part, elles évitent tout danger de la surtension due au circuit amplificateur ; enfin, elles facilitent aussi l'amorçage de l'éclateur principal en augmentant,

de par la réfraction de l'onde venant de la ligne, la tension à ses bornes.

La fréquence élevée des circuits oscillants s'imposait d'ailleurs également pour une autre raison (1) et notamment afin de réduire au minimum la constante de temps de notre dispositif. En effet, de cette façon la constante de temps, est inférieure à une micro-seconde. Il est évident, toute fois, que pour des ondes à front très raide, l'éclateur

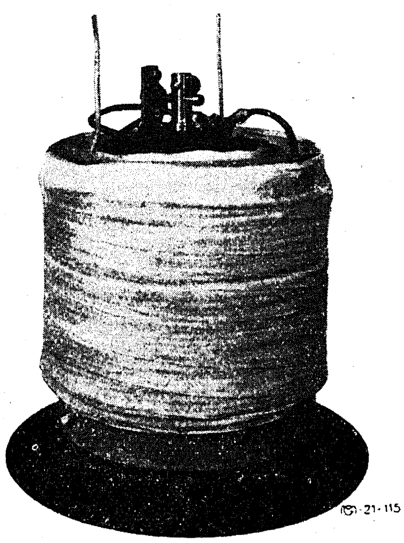


Fig. 3.

principal fonctionnera avant que le circuit amplificateur ait eu le temps d'agir, mais son retard d'amorçage étant de l'ordre de 10^{-7} sec, la surtension qu'aura à supporter l'installation ne dépassera en aucune façon la limite dangereuse.

Nous terminerons notre petit exposé par quelques détails de réalisation de notre dispositif. Nous nous référerons pour cela à la figure 2 qui représente son dessin en coupe.

Autour d'un petit tube isolant sont enroulés les condensateurs A et B réalisés de façon semblable à celle de certains condensateurs de T.S.F., et les bobines de self; tous ces éléments étant convenablement

(1) Cependant, il n'était pas indiqué de l'augmenter par trop, car, alors, le retard à l'amorçage inévitable de l'éclateur impose une amplification de plus en plus importante pour la même distance entre électrodes. Pour la fréquence d'un million de périodes, la tension d'amorçage, pour un éclateur à champ uniforme et à électrodes peu écartées, ce qui est le cas de notre appareil, est sensiblement égale à la tension de claquage statique.

surisolés afin d'éviter toute possibilité de claquage interne. Dans ce but également, cet ensemble est très soigneusement imprégné après l'exécution. Suit un tube métallique plein, dont l'effet est de concentrer les lignes de forces magnétiques entre électrodes, et une lame soudée à l'électrode hémi-spérique, enfilée dans l'ouverture prévue dans la cloison isolante et mise à la terre. La cloison isolante, réalisée en une matière ininflammable et munie de deux collerettes, est entourée de l'électrode externe tubulaire. Extérieurement et concentriquement à

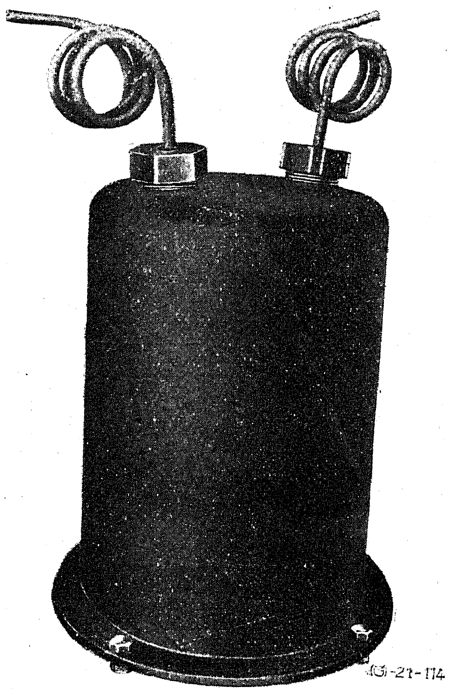


Fig. 4.

cette dernière, sont enroulées deux bobines de self, en fil à isolement incombustible, l'une au-dessus de l'autre, leur point commun étant soudé à l'électrode externe. Enfin, à l'extrémité supérieure du tube central est placé l'éclateur d'excitation réalisé en forme de cardew. L'ensemble de l'appareil est placé dans un boîtier étanche à l'eau et aux poussières, muni de deux bornes de sortie pour son insertion en série sur la ligne, et une prise de terre.

La figure 3 montre l'appareil d'essai, le boîtier étant démonté ; l'éclateur d'excitation y a été réalisé en forme d'éclateur pointe-plaque, étant donné qu'il s'agissait de pouvoir faire varier sa distance d'écla-

tement facilement et progressivement. La figure 4 montre l'appareil complètement monté.

L'encombrement de ce dispositif n'est que de 16 cm de hauteur et 12 cm de diamètre pour une installation normale jusqu'à 25 A ; ses dimensions sont donc parfaitement admissibles. Son poids est d'environ 3,5 kilogrammes. Il est établi pour le service à l'extérieur et peut être placé dans n'importe quelle position et n'importe quel endroit.

Conclusion.

Nous avons exposé, au cours de cette note, que nous nous excusons, faute de place, d'avoir fait aussi courte et peu développée, le principe et la réalisation d'un dispositif, dont les caractéristiques nous semblent intéressantes. Nous reviendrons, d'ailleurs, sur la question après une expérience d'exploitation de durée suffisante et nous présenterons alors divers documents d'essais relatifs à notre appareil.

Sans prétendre qu'il constitue la solution unique, nous croyons qu'il apporte une bonne solution du problème de protection des installations à basse tension, et qu'il est susceptible, à condition d'être placé judicieusement et en nombre suffisant, de supprimer dans ces installations tout danger de surtensions, quelle que soit leur origine.

TRAVAUX DES SECTIONS

EXTRAITS DES PROCÈS-VERBAUX

1re SECTION. — PRODUCTION ET UTILISATION MÉCANIQUE DE L'ÉLECTRICITÉ.

Président : M. Darrieus.

Séance du 9 Octobre 1930. — *Discussion de la Communication de M. Margand sur « les oscillations d'un alternateur ou d'un moteur synchrone »* (1).

M. Boucherot ajoute qu'il n'a pas eu l'occasion de faire de réserves, sur la méthode des deux réactions; mais il paraît y avoir contradiction dans le fait qu'on admet que les 2 réactions sont différentes, autrement dit que les inductances ne sont pas constantes, ce qui introduit des harmoniques, et qu'on néglige ces harmoniques.

Le coefficient L varie avec une pulsation 2ω et dans le produit $i\,\frac{dL}{dt}$ la pulsation de $\frac{dL}{dt}$ est double de celle de i.

On néglige par conséquent un terme qui est double de l'autre. Potier avait attiré l'attention sur ce point et a publié une critique dont on ne tient aucun compte.

Les machines dites « à auto-amorçage » synchrone sont des machines mal établies, enfin une machine à pôles saillants peut être à self constante, contrairement à l'opinion de certains auteurs.

M. Darrieus se propose de justifier la méthode des deux réactions en examinant le cas d'un alternateur dont le stator comporte par exemple, un enroulement à pas raccourci, approximation pratique de l'enroulement sinusoïdal qui assure une courbe de force électromotrice sinusoïdale même si le rotor est supposé donner comme il est indiqué sur la fig. 1 un champ constant entièrement localisé dans l'arc polaire.

Les coefficients de self et de mutuelle inductance des deux phases du

(1) *Bulletin de la Société Française des Electriciens*, 4e Série, t. X, no 112, décembre 1930, p. 1302.

stator sont respectivement présentés par des expressions de la forme : (+ pour l'un, — pour l'autre).

$$\left.\begin{matrix} L_{11} \\ L_{22} \end{matrix}\right\} = A \pm B \cos 2\,\omega t,$$

$$M_{12} = B \sin 2\omega t.$$

L'intervention, en même temps que du terme pulsatoire

$$\pm B \cos 2\omega t$$

dans les selfs inductances, de la mutuelle M_{12} négligée par Potier, rétablit la légitimité de l'hypothèse sinusoïdale.

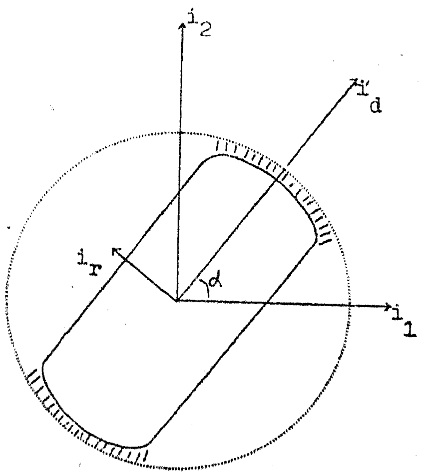


Fig. 1.

Dire que l'enroulement est sinusoïdal, c'est justifier la décomposition en i_d et i_r :

$$i_d = i_1 \cos \alpha + i_2 \sin \alpha$$

qui représente les ampère-tours directs

et $$i_r = -i_1 \sin \alpha + i_2 \cos \alpha$$

qui représente les ampère-tours transversaux.

L'hypothèse du bobinage sinusoïdal, écarte les harmoniques de flux. En décomposant le flux suivant les axes de la figure, on a respectivement.

$$\Phi_d = L_d i_d$$

$$\Phi_r = L_r i_r.$$

Suivant des axes quelconques, on a enfin les relations linéaires :

$$\Phi_x = L_{11} i_x + M_{12} i_y$$

$$\Phi_y = M_{21} i_x + L_{22} i_y$$

avec $$M_{12} = M_{21}$$

Ainsi la relation entre le vecteur flux et le vecteur courant dont les directions ne coïncident plus que le long des axes principaux direct et transversal, est représentée par un tenseur.

M. Boucherot fait observer qu'on a apporté beaucoup de confusion à cette question et qu'en somme il suffit de distinguer les alternateurs dont l'inductance par phase ne doit pas varier pendant la période de ceux dont l'inductance est périodique.

Il a montré, dans l'enseignement qu'il a donné pendant 30 ans à l'École supérieure d'Électricité, dès une époque qu'il ne peut préciser, mais antérieure à 1903, que dans les alternateurs auto-excitateurs (sans courant continu tels que ceux qu'il a présentés à la Société en 1897, pour avoir une tension aussi bonne que possible comme forme), il faut avoir entre phases une mutuelle inductance de la forme $\lambda \sin 2\omega t$ quand la self inductance par phase est de la forme $\gamma \pm \lambda \cos 2\omega t$ (voir autographies de l'E.S.E. de 1903, voir aussi, Industrie Électrique du 10 mai 1913).

M. Darrieus ajoute que tous les diagrammes sinusoïdaux s'appliqueront à un alternateur à pôles saillants, si le bobinage du stator élimine les harmoniques.

En ce qui concerne les oscillations, on peut dire que si on considère un observateur accompagnant le champ tournant, celui-ci observe une oscillation entre les flux totaux Φ et ψ (fig. 2). La considération des flux résultants de préférence aux courants, conduit à substituer à la réactance totale, la réactance de fuites N.

Comme le fait remarquer M. Boucherot, suivant que l'on considère ce qui se passe à courant constant ou à tension constante, il faut envisager l'inductance totale ou l'inductance des fuites.

M. Margand précise que les vibrations rapides se manifestent au moment d'une mise en court-circuit. Si on suppose par exemple qu'une machine fonctionnant à circuit ouvert et très faiblement excitée est mise en court-circuit, la théorie qu'il a indiquée s'applique et il y a oscillation libre.

M. Darrieus rappelle un mémoire de B. Hopkinson (1) qui paraît avoir pour la première fois signalé l'amortissement négatif dû à la

(1) The « Hunting » of alternative Current Machines (*Proc. Roy. Soc.*, t. LXXII, juin 1903, p. 235) ; reproduit en substance dans le 2e volume de la Théorie des Courants alternatifs par A. Russell (trad. Seligmann-Lui) p. 195.

résistance d'induit. Ce mémoire se bornait toutefois au cas de l'alternateur monophasé sans amortisseur, dans lequel l'hypothèse des courants sinusoïdaux n'est justement plus légitime.

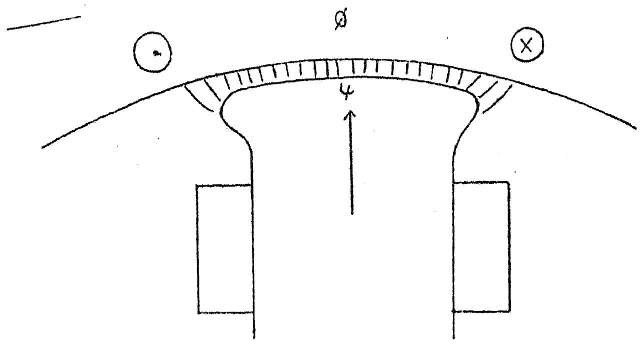


Fig. 2.

Il rappelle également l'étude qu'il a présentée récemment à la Section avec M. Liénard sur l'auto-amorçage asynchrone, qui peut d'ailleurs coexister avec l'auto-amorçage synchrone lorsque les deux réactions sont inégales.

Séance du 6 novembre 1930. — *Justification de principe de la méthode des deux réactions de M. Blondel*, par M. Darrieus.

M. Darrieus se propose de montrer que pour les machines à pôles saillants, la méthode des deux réactions peut se justifier dans les mêmes limites où les diagrammes sinusoïdaux sont applicables aux machines à rotor lisse.

Nous dirons d'un enroulement de machine tournante qu'il est pratiquement sinusoïdal, si les divers conducteurs qui le composent sont répartis de telle sorte que la force magnétomotrice varie à peu près sinusoïdalement le long de l'entrefer (les enroulements usuels satisfont d'ailleurs suffisamment à cette définition, sauf en quelques cas relativement rares, surtout s'ils comportent plusieurs encoches par pôle et par phase, et encore mieux si les harmoniques 5 et 7 sont pratiquement éliminés par un pas raccourci aux 5/6) : un ensemble polyphasé de tels enroulements donne donc lieu, d'après le thérorème de Ferraris, à une f.m.m. tournante. Une définition équivalente, en vertu du caractère réciproque des inductions mutuelles, consiste à dire qu'un champ de forme quelconque ne peut induire de f.é.m. dans un tel enroulement que par son onde fondamentale et non par ses harmo-

niques quels qu'ils soient ou, ce qui revient au même, que le flux total dû à un champ de forme quelconque à travers un circuit sinusoïdal d'axe α (fig. 1) est de la forme

$$\varnothing_0 \cos(\alpha - \alpha_0)$$

$\varnothing_0$ désignant le maximum embrassé par le circuit lorsqu'il se trouve dans la direction α_0.

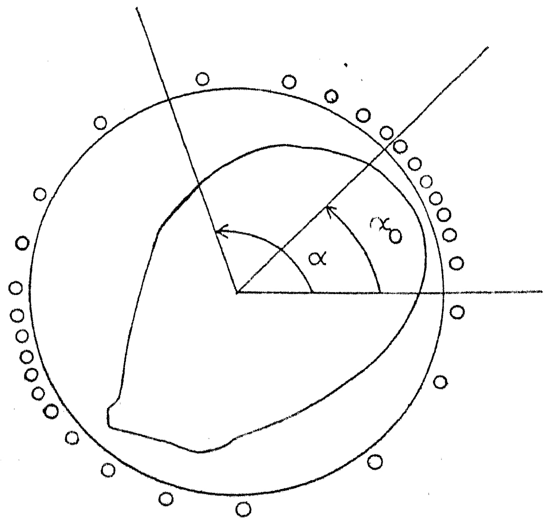


Fig. 1.

Considérons donc pour fixer les idées (fig. 2) une machine diphasée avec les deux circuits i_a et i_b en présence d'un rotor à pôles saillants présentant deux axes principaux, longitudinal et transversal, suivant lesquels la réductance est différente. Cette différence de perméance magnétique suivant la direction, (« anisotropie ») ne nous permet pas de déterminer d'emblée le flux produit par des ampères-tours de direction quelconque, ni même d'admettre que ce flux puisse demeurer en général en phase avec les ampères-tours ; nous pourrons toutefois définir pour des circuits particuliers dirigés suivant les axes de symétrie, 2 systèmes d'inductances $L_1L'M_1$, $L_2L_2M_2$ respectivement longitudinales et transversales, en affectant l'accent aux deux circuits en quadrature, inducteur (longitudinal) et amortisseur (transversal) du rotor.

L'hypothèse sinusoïdale nous permet dès lors de déterminer par simple projection le flux à travers une phase d'orientation quelconque par rapport aux axes pour une répartition quelconque du courant dans les divers circuits.

Un courant i_a dans la phase a, équivalent à 2 composantes $i_a \cos \alpha$ et $-i_a \sin \alpha$, détermine ainsi respectivement suivant les 2 axes princi-

paux, d'après la définition de L_1 et de L_2 des composantes de flux $L_1 i_a \cos\alpha$ et $-L_2 i_a \sin\alpha$ dont la résultante, par suite de l'inégalité $L_1 > L_2$ est plus rapprochée de l'axe longitudinal que l'axe de *a*, suivant lequel sa composante utile est le produit de i_a par inductance

$$L = L_1 \cos^2\alpha + L_2 \sin^2\alpha = \frac{L_1 + L_2}{2} + \frac{L_1 - L_2}{2} \cos 2\alpha$$

tandis que la déviation du flux hors de la direction des ampères-tours détermine à travers la 2[e] phase, un flux d'induction mutuelle pulsatoire de fréquence double :

$$Mi_a = L_1 i_a \cos\alpha.(\sin\alpha) - L_2 i_a \sin\alpha.(\cos\alpha) = \frac{L_1 - L_2}{2} \sin 2\alpha . i_a$$

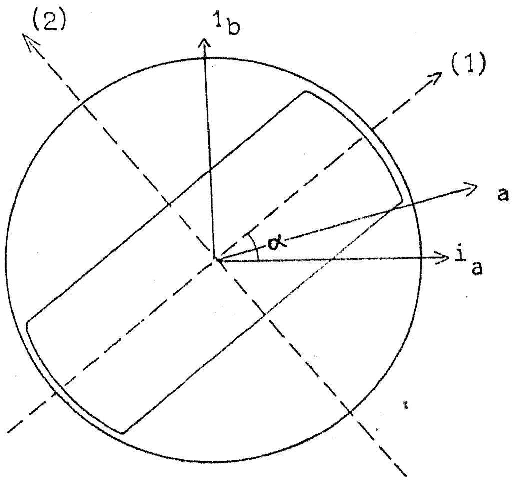


Fig. 2.

L'amplitude de l'inductance mutuelle entre les 2 phases *a* et *b* est donc précisément égale à celle de la partie variable de la self-inductance de chacun de ces circuits, et c'est grâce à cette circonstance que l'existence de courants sinusoïdaux en régime permanent est compatible avec les fluctuations des inductances qu'implique l'hypothèse des deux réactions.

En effet l'équation relative à la phase *a* :

$$Ri_a + \frac{d(Li_a + Mi_b)}{dt} = E \sin \omega t$$

que Potier (*CR Ac. Sc.* CXXIX, p. 637, 1899) avait posée avec le seul terme de self-inductance, comprend maintenant un terme d'inductance mutuelle

$$\frac{d}{dt}(Mi_b)$$

dont l'effet, pour un courant i_b déphasé de $\pi : 2$ en arrière de i_a, est précisément de ramener l'ensemble à la forme sinusoïdale, puisque, si i_a et i_b sont de la forme $I\sqrt{2}\sin(\omega t - \varphi)$ et $-I\sqrt{2}\cos(\omega t - \varphi)$ la parenthèse se trouvera réduite à la forme :

$$I\sqrt{2}\,\frac{L_1 + L_2}{2}\sin(\omega t - \varphi) + \frac{L_1 - L_2}{2}\cos 2\omega t \sin(\omega t - \varphi)$$

$$- \frac{L_1 - L_2}{2}\sin 2\omega t \cos(\omega t - \varphi),$$

$$\sin 2\omega t \cos(\omega t - \varphi) = I\sqrt{2}\left[\frac{L_1 + L_2}{2}\sin(\omega t - \varphi) - \frac{L_1 - L_2}{2}\sin(\omega t + \varphi)\right]$$

ne comprenant, comme les autres termes de l'équation, que l'onde fondamentale de pulsation ω.

Il convient de rappeler que M. BOUCHEROT a envisagé depuis longtemps de tels termes pulsatoires de self et de mutuelle inductance dans ses conférences de l'École supérieure d'électricité, à propos des machines sans excitation et à self inductance variable.

M. BOUCHEROT fait, à propos de la communication de M. MARGAND et de la communication de M. DARRIEUS, les observations suivantes :

« Je veux faire remarquer d'abord que lorsque certaines propriétés, certaines explications ont été énoncées par un auteur, ou certaines réalisations faites par lui, le fait d'arriver aux mêmes résultats par de nouvelles méthodes ne détruit pas ces antériorités.

Outre la formule des oscillations lentes que j'ai donnée, il y a près de 40 ans, et que M. MARGAND veut bien rappeler, ce dont je le remercie, j'ai donné, à diverses reprises des explications de l'amortissement négatif bien antérieures à celles de M. CHIPART : ici même en 1904, pour ce qui est de l'influence de l'hystérésis (*Bulletin de la Société Française des Électriciens* de novembre 1904) et dans la Lumière Electrique de 1913 (nos des 8, 15 et 22 novembre 1913) pour l'influence de la résistance d'induit. J'ai parlé maintes fois des oscillations rapides et je ne suis pas le seul. Je me propose de revenir plus en détail sur le travail de M. MARGAND, qui représente un effort méritoire.

Je me suis reporté à l'ouvrage de Russel (Trad. Seligman-Lui). Il semble que Kopkinson ait constaté l'amortissement négatif, mais l'explication donnée dans ce livre, d'après Hopkinson dit-on, me paraît inexacte.

« La communication de M. DARRIEUS sur les propriétés des enroulements sinusoïdaux — proposés jadis par Leblanc — justifiant la

méthode des deux réactions est d'un très grand intérêt et nous devons en féliciter chaudement son auteur. J'ai vérifié l'exactitude de ce qu'il a annoncé, relativement à ces enroulements spéciaux, mais je me permets de dire que ce qu'elle justifie surtout, ce n'est pas réellement la méthode des deux réactions, mais la perfection des résultats obtenus, quelle que soit la forme de l'inducteur, avec des enroulements sinusoïdaux parcourus par des courants sinusoïdaux également. Malheureusement, comme l'a fait remarquer M. Bunet à la dernière séance, on ne peut pas appliquer les enroulements sinusoïdaux aux alternateurs à grand nombre de pôles, tels que ceux conduits par les grands moteurs à explosion, qui n'ont qu'une ou deux encoches par pôle et par phase. J'ajoute qu'on ne peut pas non plus les appliquer dans l'induit des turbo-alternateurs parce que la tension par spire y est trop considérable. Le champ d'application de ces enroulements est alors très limité. Remarquons qu'on a supposé aussi les courants parfaitement sinusoïdaux, autre restriction.

« Je suis cependant heureux que l'application de ces enroulements soit possible au cas dont j'ai parlé ici il y a 2 ou 3 ans quand j'ai proposé l'emploi d'un petit alternateur sans harmoniques, pour l'analyse des tensions d'alternateurs par annulation du terme fondamental, on m'a répondu ici que c'était impossible à réaliser ».

M. Fallou rappelle qu'il n'existe pas de moyens pratiques de détermination du coefficient transversal ; les seules méthodes de mesure utilisables sont celles comportant des spires témoin (Blondel et Carbenay).

On pourrait également déduire ce coefficient d'une mesure de couple.

M. Darrieus ajoute que la mesure de ce coefficient serait également possible au moyen de 2 machines semblables décalées de 90° ; il rappelle d'autre part les phénomènes d'auto-excitation synchrone constatés en Californie, grâce au couple donné sans excitation par les pôles saillants des alternateurs.

2e SECTION. — ÉCLAIRAGE ET CHAUFFAGE

Présidence de M. Darmois

Séance du 16 décembre 1930. — *Influence de l'éclairage sur les accidents*, par M. Maisonneuve.

M. Maisonneuve rappelle les statistiques mettant en évidence l'influence de l'éclairage sur les accidents. La plus importante est celle qui

a été établie par l'ingénieur américain Simpson de la Traveller's Insurance Company et qui a porté sur 91.000 accidents, 23,8 pour cent de ces accidents étaient imputables directement ou indirectement à l'éclairage défectueux. Si on examine la courbe des accidents relatifs aux divers mois de l'année, on constate un maximum prononcé en hiver, c'est-à-dire à l'époque où l'éclairage naturel est minimum. Si on applique ces chiffres aux statistiques françaises d'accidents, on trouve que la perte totale correspondant aux accidents de travail en France atteint 750 millions de francs. La part des Compagnies d'assurances s'élevant à la somme considérable de 155 millions, il serait bon que ces compagnies encouragent par tous les moyens, en particulier par la réduction de la prime, les industriels à bien éclairer leurs usines. M. Maisonneuve cite également les statistiques du British Home Office Comittee, ainsi que d'autres statistiques publiées par le Bureau International du Travail.

Les effets d'un éclairage insuffisant se font tout particulièrement sentir dans les voies publiques. C'est ce qu'on constate facilement quand on se reporte aux statistiques des accidents de la circulation, publiées récemment par la Préfecture de Police de Paris.

M. Vetzel rappelle les statistiques faites par le Commandant Serin, Commandant de la gendarmerie de l'Oise, qui viennent corroborer les conclusions que l'on peut tirer des statistiques de la ville de Paris.

Influence de l'éclairage sur le travail, par M. Vetzel.

M. Vetzel fait un compte rendu d'expériences effectuées par le Comité de Recherches sur l'Eclairage du Département de Recherches Scientifiques et Industrielles, qui dépend du Home Office Anglais.

Ces recherches comprenaient deux parties : des expériences poursuivies au National Physical Laboratory et des essais à grande échelle dans des bureaux du gouvernement.

Le même Comité ayant déjà étudié l'influence de l'éclairement sur le rendement du travail (les résultats ont déjà été présentés par M. Vetzel, à la 2e Section), s'est attaché à rechercher l'influence de la distribution et de la couleur de la lumière au point de vue du travail du bureau. Dans ce but, on a utilisé une fenêtre artificielle donnant un éclairage sensiblement vertical et des appareils semi-indirects donnant un éclairage horizontal. Ces deux systèmes étaient équipés, soit avec des lampes dans le vide, soit avec des lampes à ampoule bleue dites « lumière du

jour ». Le travail effectué était le classement de fiches, les sujets étant pris parmi des employés de la poste, habitués à ce travail.

Des nombreuses expériences faites, il résulte que, d'une façon générale, la lumière du jour et l'éclairage vertical étaient préférables. Les intensités lumineuses étaient choisies dans les deux cas, de telle sorte que l'éclairement horizontal était le même sur le plan de travail.

M. Matigot fait observer que l'emploi des fenêtres artificielles ne saurait être généralisé et qu'il ne doit pas être recommandé, étant donné la mauvaise distribution des éclairements qui en résulte. M. Vetzel répond que les recherches anglaises n'avaient pas pour objet de montrer les avantages de tel ou tel système d'éclairage, mais simplement l'influence de la couleur ou de la direction de la lumière sur le rendement. Les fenêtres artificielles n'ont été employées que comme moyen d'obtenir un éclairage de direction très inclinée. Il serait possible de réaliser le même effet à l'aide d'autres systèmes d'éclairage, par exemple par des appareils suspendus décalés du côté des fenêtres ou, dans certains cas, par des appareils d'angle.

Il faut d'ailleurs remarquer que les fiches manipulées n'étaient pas toujours posées à plat sur la table et que, étant tenues à la main, l'éclairement de ces fiches provenant de la fenêtre artificielle, pouvait être supérieure à celui provenant des appareils suspendus, ce qui suffirait à expliquer la différence obtenue avec ces deux systèmes d'éclairage.

Chauffage par accumulation, par M. Foulcher.

M. Foulcher rend compte d'un travail fait par le Lieutenant-Colonel S. E. Monkhouse R. E. (TR) et L. C. Grant de l'I. E. E. sur le chauffage électrique des immeubles par accumulation de chaleur. Le chauffage électrique a fait des progrès considérables depuis quelques années. Le prix élevé de l'énergie électrique par comparaison avec le prix des combustibles solides ou liquides est compensé par des avantages de propreté, de commodité et d'efficacité.

Les auteurs recommandent un usage plus étendu du chauffage électrique à l'aide de l'accumulation de chaleur, par l'emploi de l'énergie électrique pendant les heures creuses. Ils démontrent que l'exploitation de ce système est économique et que, pour de grands immeubles le chauffage électrique peut concurrencer les autres systèmes de chauffage.

M. Foulcher fait ressortir qu'il y aurait intérêt à utiliser l'énergie électrique pendant les heures creuses à des prix suffisamment bas pour

développer le chauffage électrique par accumulation. Il passe ensuite en revue les moyens d'accumulation : les chaudières à électrodes, les chauffe-eau à résistance, l'accumulation sous pression, puis il étudie les pertes de chaleur pendant la période d'accumulation et la disposition des appareils (système où chauffage et accumulation sont combinés, système à unités de chauffe séparées). Enfin il décrit rapidement quelques réalisations effectuées.

La communication de M. Foulcher donne lieu à une discussion des possibilités de chauffage électrique au point de vue économique.

3ᵉ SECTION. — ELECTROCHIMIE. — ELECTRO METALLURGIE PILES ACCUMULATEURS.

Présidence de M. Ch. Marie.

Séance du 13 décembre 1930. — *Considérations générales sur l'oxydation de l'ammoniac, avec production d'énergie électrique, par MM. Bunet, Ch. Marie et Haenny.*

M. Bunet expose les considérations générales suivantes sur l'oxydation de l'ammoniaque

L'oxydation de l'ammoniaque dans le but d'obtenir des produits nitriques est une opération devenue industriellement nécessaire, car ces produits nitriques sont la base de nombreux autres produits, les explosifs en particulier. L'oxydation de l'ammoniaque se produit couramment en faisant arriver le gaz ammoniac mélangé d'air enrichi en oxygène sur des toiles de platine, servant de catalyseurs selon la formule courante.

Il se dégage une quantité de chaleur très considérable. Ainsi dans une installation qui produirait 5000 tonnes par an d'azote fixé (et certaines usines ont une production bien plus grande), la réaction

$$2NH^3 + 5O = 2NO + 3H^2O + 110 \text{ cal.}$$

représentant une libération de 4,55 kWh : kg. d'azote, amènerait un gaspillage d'énergie transformée en chaleur de près de 23 millions de kilowatts heures par an.

Il faut se débarrasser de cette chaleur en faisant passer le gaz dans des réfrigérents fort coûteux, car la plupart des métaux étant attaqués à certaines températures par les gaz produits, on doit adopter des parois de ferro-silicium ou corps analogues, qu'on ne peut obtenir qu'avec une épaisseur assez forte et qui sont peu conducteurs de la chaleur. On

produit ainsi beaucoup plus d'eau chaude et de vapeur que l'usine ne peut souvent utiliser, et à un prix élevé.

Nous avons pensé qu'on pourrait se libérer de ces inconvénients si l'on arrivait à constituer une pile à gaz réalisant la réaction ci-dessus, ou une réaction analogue, de telle sorte que l'appareillage pourrait devenir plus simple, et que l'on pourrait récupérer sous forme d'énergie électrique, une portion tout au moins de l'énergie libérée. Tel est le problème que j'ai soumis à notre Président, M. Ch. Marie et à son collaborateur M. Haenny. Vous allez entendre les résultats des premières recherches, ils sont encourageants. N'auraient-ils mis en évidence que les résultats théoriques déjà acquis, que la question mérite, je crois, d'être signalée à notre section.

En ce qui concerne la récupération possible, si sur les 93 millions de kilowattheures dont nous parlions, on en récupérait la moitié sous forme d'énergie électrique, et qu'on les évalue seulement à 0 fr. 12 chacun, elle représenterait 1.400.000 francs par an pour une production de 5.000 tonnes, ou environ 5 pour cent du prix de vente actuel.

Certaines usines produisent l'ammoniaque au moyen d'hydrogène électrolytique. La réaction de décomposition de l'eau est :

$$H^2O = H^2 + O - 69 \text{ calories.}$$

Il faut $3H^2O$ pour faire $2NH^3$ de sorte que sur $69 \times 3 = 207$ calories la récupération de 100 calories représenterait 53 pour cent en énergie électrique, qui serait sous une forme convenable pour la production d'hydrogène.

Pratiquement les électrolyseurs n'ont un rendement que de 0,75 environ ; la pile à ammoniaque aurait elle-même un rendement inconnu, peut-être de l'ordre de 0,5 de telle sorte que la récupération de l'énergie consacrée à l'électrolyse de l'eau serait environ :

$$0,53 \times 0,75 \times 0,5 = 0,20.$$

M. Bunet cède alors la parole à M. Haenny qui rend ainsi compte des essais expérimentaux effectués au laboratoire de M. Ch. Marie :

Les diverses piles à gaz que nous avons réalisées pour l'oxydation du gaz ammoniac par l'oxygène, se différencient les unes des autres par leurs électrolytes et par la nature des électrodes. Le métal dont est fait les électrodes, joue un rôle important dans la pile à gaz bien que ces électrodes soient inertes au point de vue électrochimique, elles semblent agir, dans certains cas, comme un catalyseur. L'électrolyte peut absorber les produits de la réaction au fur et à mesure de leur formation

ou ne servir que de conducteur électrolytique. En tous cas, ses propriétés physiques telles que le point de fusion et le point d'ébullition, déterminent l'intervalle de température dans lequel la pile doit être étudiée. Les piles envisagées ici ont été formées à l'aide de verre ou de sels fondus, leur étude a donc été faite à des températures variables, comprises entre 200° et 800°.

Nous avons tout d'abord tiré parti des propriétés électrolytiques du verre ramolli par la chaleur, en répétant pour l'ammoniaque, les expériences devenues classiques de Haber sur la pile à gaz tonnant, en ne faisant subir à l'appareil utilisé par cet auteur, que quelques modifications de nature à simplifier le dispositif expérimental.

Cette pile a été construite de la manière suivante :

Un tube de verre pyrex dont le fond a été platiné sur les deux faces, a été introduit dans un four électrique permettant d'atteindre 800°. Ce tube a été rempli de gaz ammoniac et entouré extérieurement d'une atmosphère d'oxygène. Les deux dépôts de platine constituaient les électrodes (cathode et anode) qui ont, chacune, été reliées à un potentiomètre par des fils de platine. Le tube de verre servait ainsi à la fois d'électrolyte dans sa partie chauffée et de récipient contenant le gaz ammoniac.

La pile correspondait au schéma :

$$NH_3 - \underset{-}{Pt} \text{ verre pyrex chauffé } \underset{+}{Pt} - O_2.$$

Les valeurs de sa force électromotrice sont constantes pour des températures données. Elles varient relativement beaucoup avec la température, comme le montrent les chiffres suivants :

570	615	652	670	690	707	735	755	772	790° C
1,090	1,075	1,022	1,018	1,008	1,00	0,99	0,976	0,963	0,951 V

Si le gaz ammoniac est évacué pour être remplacé par de l'oxygène, chaque électrode est au contact du même gaz à la même pression, la force électromotrice s'annule, elle reprend sa valeur en remplissant à nouveau le tube de verre de gaz ammoniac. On constate de même que la force électromotrice s'annule si le tube plein d'ammoniac est plongé dans une atmosphère du même gaz. Les forces électromotrices données ci-dessus proviennent donc d'une réaction entre les deux gaz, elles ne peuvent s'expliquer par quelque dissymétrie de la pile.

Une telle pile est évidemment incapable de fournir un courant d'intensité notable et il apparaît de suite que les quantités d'ammoniac oxydées sont trop faibles pour qu'il soit possible de soumettre à l'ana-

lyse chimique le produit de cette oxydation. Dans les conditions réalisées, l'ammoniac ne peut s'oxyder qu'en azote ou en oxyde d'azote, éventuellement. D'après les propriétés mêmes de l'oxyde d'azote, cette seconde possibilité paraît devoir être exclue. La chaleur dégagée par l'oxydation de l'ammoniaque en l'un ou l'autre de ces deux gaz est très différente, elle est de 76 calories par molécule d'ammoniac transformée en azote et de 54 calories pour l'oxydation en oxyde d'azote. Les forces électromotrices correspondant à chacune de ces deux réactions doivent également présenter un grand écart et il est ainsi possible de trouver dans la valeur de la force électromotrice mesurée pour la pile une indication sur la nature de la réaction. La force électromotrice maximum, mesurée à 590°, est en accord avec celle calculée d'après les données thermochimiques connues sur l'oxydation du gaz ammoniac en azote, tandis qu'elle est au contraire plus élevée que celle qui pourrait résulter de l'oxydation en oxyde d'azote. La pile semble donc bien fonctionner à cette température en donnant de l'azote.

Il n'est pas certain et même il paraît peu probable que les forces électromotrices plus basses observées à des températures différentes correspondent alors à la formation d'oxyde d'azote. On connaît, en effet, plusieurs autres causes capables d'abaisser la force électromotrice d'une pile, tandis qu'il est difficile d'en trouver pour en expliquer l'élévation.

On constate ainsi que le verre rend comme électrolyte les mêmes services dans l'oxydation électrochimique de l'ammoniac que pour celle de l'hydrogène ou de l'oxyde de carbone (Kallmann) par l'oxygène sans permettre la production de composés oxygénés de l'azote.

Ce résultat ne peut avoir qu'un intérêt théorique. Il nous a paru intéressant de savoir s'il est possible de pousser plus loin l'oxydation électrochimique de l'ammoniac, jusqu'à la formation d'oxydes d'azote ou de sels nitrés, en formant d'autres piles à gaz.

Dans les réactions chimiques, tous les oxydes d'azote étant endothermiques, l'oxydation de l'ammoniac par l'oxygène donne de préférence de l'azote, d'où les précautions nécessaires pour la production d'oxyde d'azote dans le procédé catalytique actuellement en usage dans l'industrie. Ces difficultés peuvent être en partie surmontées par une oxydation en présence de bases fortes. Il peut alors se former des sels nitrés suivant une réaction plus exothermique que l'oxydation en azote. K.-A. Hoffmann et ses collaborateurs ont publié plusieurs mémoires à ce sujet dans lesquels ils indiquent avoir ainsi obtenu des nitrates ou des nitrites alcalins ou alcalino-terreux en dirigeant un courant d'oxy-

gène contenant de l'ammoniaque sur des alcalis ou de la chaux portés entre 300 et 400°.

Nous avons construit une pile remplissant ces conditions en prenant le mélange équimoléculaire de soude et de potasse caustiques facilement fusible comme électrolyte. Il est d'un usage moins facile que le verre et nous avons éprouvé quelques difficultés à trouver un matériel convenable pour nos expériences. Après de nombreux essais infructueux faits en utilisant des substances diverses, nous nous sommes limités à l'usage des métaux nobles, l'or ou le platine. Même les métaux peu attaqués tels que le fer, le nickel, entrent peu à peu en solution vraie ou colloïdale et les phénomènes qui ont lieu aux électrodes empêchent toute mesure nous forçant ainsi à renoncer à leur emploi. Les piles que nous avons pu étudier en utilisant exclusivement l'or ou le platine, ont été faites de la manière suivante :

Un tube d'or ou de platine (pôle négatif) a été plongé par une de ses extrémités dans le mélange d'alcalis fondus contenu par un creuset d'or ou de platine (pôle positif), surmonté lui-même d'une atmosphère d'oxygène. Le rendement de la pile eut certainement été meilleur si au lieu d'un tube conducteur, nous avions disposé d'une matière qui tout en étant suffisamment résistante à l'action des alcalis ait été un isolant électrique.

Les métaux nobles sont d'ailleurs également un peu attaqués et lentement dissous par les alcalis. Si les deux électrodes sont faites du même métal, cette attaque n'est pas gênante, les mêmes phénomènes se produisent de chaque côté et la différence de potentiel entre les électrodes au contact du même gaz s'annule. Mais ce n'est plus le cas si l'une des électrodes est en or. Une force électromotrice très appréciable prend naissance et ne disparaît qu'au moment où la partie immergée de l'électrode d'or est recouverte d'un dépot de platine suffisamment épais.

Il faut en outre faire remarquer que ces deux métaux nobles ne se comportent pas dans la pile de la même manière, le platine joue un rôle de catalyseur que l'or n'a pas et, tandis que la force électromotrice d'une pile construite avec du platine prend de suite sa valeur normale, celle construite avec de l'or ne présente, tout d'abord, aucune différence de potentiel entre ses électrodes, la force électromotrice part de zéro et grandit lentement pour atteindre une valeur normale en l'espace d'une ou deux heures.

La force électromotrice d'une pile mise en court-circuit diminue avec le temps, au fur et à mesure que baisse la pression du gaz ammoniac qui

s'oxyde. Elle reprend sa valeur par une nouvelle addition de gaz ammoniac. On peut constater par l'analyse chimique la présence de sels nitrés (nitrate et nitrite) dans l'électrolyte d'une pile qui a ainsi fonctionné pendant un certain temps.

Des mesures précises ont fourni une valeur de 0,665 V pour la force électromotrice de cette pile à 243° et le coefficient de température a été trouvé de $1,1 \times 10^{-4}$ V par degré pour l'intervalle de température compris entre 200 et 300°.

Ces deux données permettent de calculer par l'application de l'équation de Gibbs-Helmotz, l'énergie libre correspondant à la réaction électrochimique qui a lieu dans la pile. En admettant que le gaz ammoniac s'oxyde en nitrate, on trouve une valeur de 112 000 calories qui s'accorde avec celles que l'on peut déduire des données thermochimiques pour les réactions suivantes :

$$NH_3 + KOH + 2O_2 = KNO_3 + 2H_2O + 120\,000 \text{ cal.}$$
$$NH_3 + NaOH + 2O_2 = NaNO_3 + 2H_2O + 113\,000 \text{ cal.}$$

Ces essais montrent la possibilité d'une oxydation du gaz ammoniac en composés nitrés par l'intermédiaire d'une pile à gaz. Le courant que nous avons obtenu n'a pas dépassé 0,01 A en utilisant 20 cm³ d'alcalis fondus, mais comme nous l'avons dit, les conditions de ces expériences n'étaient pas favorables à un bon rendement. Peut-être est-il possible de l'améliorer beaucoup.

M. Freijacques insiste sur la portée industrielle du problème en étude.

4e SECTION. — CANALISATIONS. DISTRIBUTION GÉNÉRALE. — TRACTION.

Président : M. Daguerre.

Séance du 11 Décembre 1930. — *Compte rendu des Réunions du Comité N° 2 du Congrès de* Stockholm, *au sujet des spécifications des machines, par* M. E. Roth.

M. E. Roth rappelle les différents points qui ont donné lieu à discussion au cours de ce congrès et les décisions prises. En ce qui concerne l'échauffement des machines il a été établi un tableau dans lequel on a unifié les échauffements à 65° par thermomètre et à 80° par résistance pour les isolants de la classe B et à 50° par thermomètre et 60°

par résistance pour les isolants de la classe A, qu'il s'agisse de grosses ou de petites machines.

M. E. Roth indique ensuite les tolérances qui ont été admises au congrès de Stockholm :

Sur les rendements par rapport de la puissance utile à la puissance d'alimentation : 0,15 $(1 - \eta)$ avec minimum de 0,007 ;

Sur les pertes individuelles des transformateurs on adopta 1/7 des pertes individuelles garanties ;

Sur la variation de vitesse des moteurs shunt ou compound à courant continu, entre charge nulle et pleine charge : 1/5 de la variation garantie avec un minimum de 0,2 pour cent de la vitesse nominale ;

Sur le couple de démarrage et le couple maximum des moteurs d'induction : 1/10 du couple garanti ;

Sur le courant vide des transformateurs : 3/10 du courant à vide garanti (les délégués suisses et anglais n'étaient pas partisans d'une tolérance, aucune garantie n'étant donnée dans leur pays pour le courant à vide) ;

Sur la tension d'impédance des réactances, limiteurs de courant au courant spécifié : 15 pour cent.

Aucune décision ne fut prise en ce qui concerne les irrégularités de la forme d'onde.

Pour les échauffements des appareils destinés à fonctionner dans des climats tropicaux, il a été admis que les échauffements normaux, indiqués dans les tableaux, devraient être réduits de 10° (enroulements des transformateurs dans l'huile : 15°).

Quant à la question des essais diélectriques des excitatrices, aucun changement ne fut apporté au texte en vigueur.

Enfin, il fut décidé que les moteurs d'induction polyphasés devraient être capables de supporter pendant 15 secondes sans calage ni changement brusque de vitesse, un couple supérieur de 75 pour cent au couple normal et appliqué graduellement. La valeur de 75 pour cent ne s'applique pas toutefois aux moteurs à marche exceptionnellement lente, aux moteurs pour fréquences élevées ainsi qu'aux moteurs, ne nécessitant pas un grand excès de couple ou bien spécialement étudiés pour limiter l'excès de courant pendant le démarrage.

Il est bien entendu que toutes les concessions ne sont accordées par les délégués qu'à condition d'être ratifiées par les Comités nationaux.

M. BUNET fait observer que la tolérance admise sur le courant à vide des transformateurs lui paraît élevée surtout si ce courant est important. On favorise de cette manière trop de mauvais constructeurs.

M. BRYLINSKI trouve que certains courants à vide sont, en effet, excessifs; on a d'ailleurs rencontré des constructeurs qui répondaient aux demandes concernant le courant à vide par l'indication des pertes à vide.

M. DARRIEUS ajoute que les résultats obtenus à Stockholm sont satisfaisants et représentent en somme un compromis qui était inespéré.

INFORMATIONS
DE LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DES ÉLECTRICIENS

Une fête française à Rio Janeiro

Rio de Janeiro, 27 décembre 1930

La Société brésilienne et la colonie française de Rio de Janeiro, viennent de fêter le cinquantenaire de l'arrivée au Brésil de notre distingué Collègue M. Emile GRANDMASSON.

Ancien élève de l'Ecole polytechnique et de l'Ecole Supérieure des Mines, il fut appelé en 1880 par l'Empereur du Brésil, dom Pedro II, comme professeur de Chimie industrielle à Rio de Janeiro où il demeura.

Le président provisoire du Brésil avait tenu à se faire représenter à cette imposante manifestation, ainsi que l'Académie des sciences brésilienne, dont M. Emile GRANDMASSON est membre, et de nombreuses sociétés savantes de Rio.

Le président de la Chambre de Commerce française et l'éminent jurisconsulte RODRIGO OCTAVIO ont tour à tour exposé l'œuvre de l'Ingénieur français.

Banquet du Groupe Sud-Ouest à Bordeaux

Le groupe Sud-Ouest de la Société Française des Electriciens s'est réuni le 24 janvier en un banquet amical à Bordeaux, sous la présidence de M. KUPPER, Vice-Président du groupe, remplaçant M. WAGNER, Président, empêché par un deuil de famille.

Les dames formaient presque la moitié des 80 personnes présentes. M. DAGUERRE, Président de la 4e Section du Comité d'administration représentait le Bureau de la Société. A la table présidentielle se trouvaient MM. DELASALLE (ancien Président), COUSIN (doyen honoraire de la Faculté des sciences), DUPONT (doyen de la Faculté des Sciences), LECOCQ (Directeur de l'Electrification de la Gironde), ROUSSEAU (Secrétaire Général), LEDIEU (Trésorier), le Directeur des tramways de Bordeaux.

M. Kupper a pris la parole le premier, M. Cousin ensuite. Puis M. Daguerre a adressé quelques mots au nom du Bureau de la Société en s'attachant surtout à mettre en relief l'inlassable activité du groupe, en citant les noms des animateurs et en y associant ceux de MM. Camichel et Jupont, de Toulouse, et de M. Ledoux, de Tarbes.

Prix triennal George Montefiore

L'Association des Ingénieurs Electriciens sortis de l'Institut Electrotechnique George Montefiore, nous prie de publier l'information suivante :

Article I. — Un prix dont le montant est constitué par les intérêts accumulés d'un capital de 150.000 francs de rente belge à 3 pour cent, est décerné tous les trois ans, à la suite d'un concours international, au meilleur travail original présenté sur l'avancement scientifique et sur les progrès dans les applications techniques de l'électricité dans tous les domaines, à l'exclusion des ouvrages de vulgarisation ou de simple compilation.

Article II. — Le prix porte le nom de *Fondation George Montefiore.*

Article III. — Sont seuls admis au concours les travaux présentés pendant les trois années qui précèdent la réunion du jury. Ils doivent être rédigés en français ou en anglais et peuvent être imprimés ou manuscrits. Toutefois, les manuscrits doivent être dactylographiés et, dans tous les cas, le jury peut en décider l'impression.

Article IV. — Le jury est formé de dix ingénieurs électriciens, dont cinq belges et cinq étrangers, sous la présidence du professeur-directeur de l'Institut électrotechnique Montefiore, lequel est de droit un des délégués belges.

Sauf les exceptions stipulées par le fondateur, ceux-ci ne peuvent être choisis en dehors des porteurs du diplôme de l'Institut électrotechnique Montefiore.

Article V. — Par une majorité de quatre cinquièmes dans chacune des deux sections, étrangers et nationaux (lesquels doivent, à cet effet, voter séparément) le prix peut être exceptionnellement divisé.

A la même majorité, le jury peut accorder un tiers du disponible, au maximum, pour une découverte capitale, à une personne n'ayant pas

pris part au concours ou à un travail qui, sans rentrer complétement dans le programme, montre une idée neuve pouvant avoir des développements importants dans le domaine de l'électricité.

Article VI. — Dans le cas où le prix n'est pas attribué ou si le jury n'attribue qu'un prix partiel, toute la somme rendue ainsi disponible est ajoutée au prix de la période triennale suivante.

Article VII. — Les travaux dactylographiés peuvent être signés ou anonymes. Est réputé anonyme tout travail qui n'est pas revêtu de la signature lisible et de l'adresse complète de l'auteur.

Les travaux anonymes doivent porter une devise, répétée à l'extérieur d'un pli cacheté joint à l'envoi ; à l'intérieur de ce pli, le nom, le prénom, la signature et le domicile de l'auteur seront écrits lisiblement.

Article VIII. — Tous les travaux, qu'ils soient imprimés ou dactylographiés, sont à produire en douze exemplaires ; ils doivent être adressés franco à M. le secrétaire-archiviste de la *Fondation George Montefiore*, à l'hôtel de l'Association, rue Saint-Gilles, 31, Liége (Belgique).

Le secrétaire-archiviste accuse réception des envois aux auteurs ou expéditeurs qui se sont fait connaître.

Article IX. — Les travaux dont le jury a décidé l'impression sont publiés au *Bulletin de l'Association des Ingénieurs électriciens sortis de l'Institut électrotechnique Montefiore*. De cette publication ne résulte pour les auteurs ni charge de frais, ni ouverture à leur profit de droits quelconques. Il leur est néanmoins attribué, à titre gracieux, vingt-cinq tirés à part.

Pour cette publication, les textes anglais peuvent être traduits en français par les soins de l'Association.

Concours de 1932

Le montant du prix à décerner est de vingt-et-un mille cinq cents francs.

La date extrême pour la réception des travaux à soumettre au jury est fixée au 30 avril 1932.

Les travaux présentés porteront en tête du texte et d'une manière bien apparente la mention : « Travail soumis au concours de la Fondation George Montefiore, session de 1932 ».

OUVRAGES OFFERTS A LA SOCIÉTÉ

Production

Turbine hydrauliques et régulateurs automatiques de vitesse. Livre I. Description, théorie générale. Construction et Exploitation. Turbines Francis, Peleton, roues hélices. Applications de la similitude, par André TÉNOT. Ingénieur Conseil, Ingénieur des ateliers Beylier et Piccard Pictet. Cours professé à l'École des Arts et Métiers de Chalons-sur-Marne et à l'École spéciale des travaux publics. Un volume broché de 25 × 16 cm, 573 pages, 400 figures. Edité par la librairie de l'enseignement technique Léon Eyrolles, 35, rue Thénard, Paris. Edition 1930. — *Don de l'Editeur.*

Eclairage et Chauffage

L'éclairage par projecteurs. — Société pour le perfectionnement de l'éclairage. Un volume relié de 21 × 14 cm., 117 pages, 83 figures et photographies. Edité par la Société pour le perfectionnement de l'éclairage, 134, boulevard Haussman, Paris, 1931. — *Don de l'Editeur.*

Les Méthodes modernes d'Eclairage. Technique de l'Utilisation de la lumière. Cours professé à l'Ecole Spéciale des Travaux publics, par J. WETZEL Ingénieur E. S. E. Ingénieur à la Compagnie des Lampes. Un volume broché de 25 × 16 cm., 191 pages, 141 figures. Edité par la Librairie de l'Enseignement Technique. Léon Eyrolles, 3, rue Thénard, Paris. 2e Edition 1931. — *Don de l'Editeur.*

Chimie. — Electrochimie

Manuel Pratique des batteries de démarrage. — Société FULMEN. Un volume relié de 22 × 16 cm., 248 pages, 116 figures. Edité par la Société FULMEN. Clichy (Seine). 1928. — *Don de l'Editeur.*

Recherches physiques

Recherches expérimentales sur la propagation des ondes aériennes dans un long tuyau cylindrique. Extrait des Annales de physique, 10e Série, Tome XIV, novembre 1930, par Th. VAUTIER professeur à la faculté des sciences de Lyon. Un volume broché de 24 × 16 cm, 626 pages, 69 figures, 14 annexes, 30 planches. Edité par Masson et Cie, 120 boulevard Saint-Germain, Paris VIe. Edition 1930. — *Don de l'Editeur.*

Température et énergies. — P. JUPPONT, Ingénieur des Arts et Manufactures Un volume broché de 19 × 12 cm., 91 pages. Edité par la Librairie Scientifique et Industrielle Bernard Tignol, 53 *bis*, quai des Grands-Augustins, Paris. 1899. — *Don de l'Auteur.*

Travaux de recherches. — Institut polytechnique de l'Ouest. Un volume broché de 26 × 18 cm, 88 pages, 20 figures. Edité par l'Imprimerie du Commerce, 12, rue Santeuil, Nantes, 1938. — *Don de l'Editeur.*

CONGRÈS. — EXPOSITIONS

Compte rendu. Deuxième conférence mondiale de l'énergie. Berlin 1930. 19 volumes reliés de 24 × 15 cm., Edité par le V. D. I. Verlag. G. M. B. H. Berlin N. W. 7 Edition 1930. — *Achat de la Société.*

La Production Française Industrielle et Commerciale. — Groupement pour le Commerce et l'Industrie. Section Industrielle et Commerciale. Un volume broché de 25 × 19 cm., 307 pages, photographies et dessins. Edité par l'Action Industrielle et Commerciale, 7, rue des Italiens, Paris, 9ᵉ, 1930. — *Don de l'Editeur.*

Normalisations, Spécifications et Prescriptions Techniques. — Union des Syndicats de l'électricité Un volume relié de 22 × 14 cm., 1024 pages. Edité par l'Union des Syndicats de l'Electricité et divers groupements techniques, 54, avenue Marceau, Paris, 8ᵉ, 1930-1931. — *Don de l'Editeur.*

FORMULAIRES. — MANUELS

Electricité, Magnétisme, Electricité (Données numériques) par MM. A. BUFFAT, L. DURAND, G. FOEX, R. L. FORTRAT, N. Marinesco N. THON. Extrait du volume VII des Tables annuelles de Constantes et Données Numériques (Années 1925-1926). Un volume In.-4 XVIII-136 pages. Prix, relié : Fr. 90. Broché : Fr. 80. Editeurs : Gauthier-Villars et Cⁱᵉ, 55, quai des Grands-Augustins, Paris 6ᵉ

Radioélectricité (Données Numériques) par M. R. MESNY. Extrait du volume VI des Tables Annuelles de Constantes et Données Numériques (Années 1925-1926 : Un volume, in.-4 XVIII-18 pages. Prix, Relié : Fr. 40. Broché : Fr. 35. Editeurs : Gauthier-Villars et Cⁱᵉ, 55, quai des Grands-Augustins, Paris 6ᵉ.

Technischer Jahresbericht. — A. E. G. Un volume broché de 30 × 21 cm, 87 pages, 201 photographies. Edité par Allgemeine Elektricitäts-Gesellschafts. Berlin, 1930. *Don de l'Editeur*

ESEIGNEMENT

L'Amperien dans la Théorie des Spectres — R. FERRIER. Un volume broché de 27 × 21 cm., 3 pages. Edité par Gauthier-Villars, 55, quai des Grands-Augustins, Paris, 1928. — *Don de l'Auteur.*

La syntése des ondes et des corpuscules. — KARL K. DARROW. Exposé élémentaire publié par Marcel Boll. Un volume broché de 23 × 14 cm., 53 pages, 4 figures. Edité par la Librairie Scientifique Hermann et Cⁱᵉ, 6, rue de la Sorbonne, Paris, 1931. Prix : 10 francs. — *Don de l'Editeur.*

Le Scalaire Ampérien. — R. FERRIER. Un volume broché de 24 × 17 cm., 16 pages. Edité par la Coopérativa Tipografica Azzoguidi, Bologna, 1928. — *Don de l'Auteur.*

La constitution des comètes. — Conférence faite au Conservatoire National des Arts et Métiers, le 14 mai 1930. F BALDET, Astronome adjoint à l'Observatoire de Paris. Un volume broché de 25 × 16 cm., 23 pages, 4 photographies. Edité par la Librairie Scientifique Hermann et Cⁱᵉ, 6, rue de la Sorbonne, Paris, 1930. Prix : 5 francs. — *Don de l'Editeur.*

La structure et les mouvements de l'univers stellaire. — Conférence faite au Conservatoire National des Arts et Métiers, le 16 mai 1930. G DARMOIS, Professeur à la Faculté des Sciences de Nancy. Un volume broché de 25 × 16 cm, 16 pages. Edité par la Librairie Scientifique Hermann et Cⁱᵉ, 6, rue de la Sorbonne, Paris, 1930. Prix : 3 francs. — *Don de l'Editeur.*

Théorie de l'Ampérien. — R. FERRIER Un volume broché de 25 × 16 cm., 8 pages. Edité par Marcel Hayez, 112, rue de Louvain Bruxelles, 1928. — *Don de l'Auteur.*

BIBLIOGRAPHIE DES OUVRAGES OFFERTS

Production

Règles complémentaires d'unification concernant les machines électriques : Chambre syndicale des constructeurs de gros matériel électrique. N° 205 (Edition 1926). Un volume 21 × 27 cm, de 32 pages, 4 schémas. Secrétariat de la Chambre syndicale des constructeurs de gros matériel électrique, 25 boulevard Malesherbes, Paris (8°).

Ce fascicule qui annule celui publié en 1920, contient les règles d'unification qui ne sont pas incorporées dans les règles de l'Union des Syndicats de l'Electricité.

Il précise notamment les méthodes de mise en charge des transformateurs pour l'essai d'échauffement, les définitions concernant les rendements et les pertes des machines, la classification des pertes et leurs méthodes de détermination, les définitions concernant la régulation et les conditions de réalisation des essais diélectriques.

Turbines hydrauliques et régulateurs automatiques de vitesse, par André Ténot Ingénieur Conseil, ancien Ingénieur aux Ateliers Neyret-Beylier et Picard-Pictet Préface de M. Maurice Gariel (Cours professé à l'Ecole Nationale d'Arts et Métiers de Châlons-sur-Marne et à l'Ecole Spéciale des Travaux Publics, du Bâtiment et de l'Industrie). Un volume 16,5 × 25 cm. de 573 pages, 409 figures, 1930. Editeur : Librairie de l'Enseignement Technique, 3 rue Thénard, Paris Prix : 100 francs. — *Hommage de l'Editeur.*

Il faut savoir gré à M. Ténot d'avoir mis à la disposition des Ingénieurs nombreux à l'heure actuelle, qui ont à étudier l'installation d'usines hydrauliques, un ouvrage très complet sur les turbines.

L'exposé, toujours clair et bien ordonné, n'est pas surchargé de considérations théoriques inutiles au praticien, l'auteur n'ayant conservé des théories et des formules que celles indispensables à la formation technique des jeunes Ingénieurs pour lesquels cet ouvrage a été rédigé, ou qui trouvent une application immédiate dans l'élaboration des projets.

Le texte est illustré et complété par une abondante et vivante documentation industrielle et toutes les figures, schémas, courbes, abaques, reproduction de plans ou de photographies sont du plus grand intérêt.

Une innovation heureuse est à signaler : l'auteur a résumé, en quelques pages, au début de chaque chapitre l'essentiel des questions qui y sont traitées, fournissant ainsi au lecteur un précieux aide-mémoire.

Un chapitre est entièrement consacré à l'étude de la similitude des turbines dont les applications sont si fécondes ; il débute par un aperçu général sur la similitude en mécanique.

L'ouvrage comprendra deux volumes ; le premier a pour objet : Description, théorie générale, construction et exploitation. Turbines Francis, Pelton, roues hilias. Application de la similitude.

Les Ingénieurs trouveront dans l'ouvrage de M. Ténot tous les éléments nécessaires pour choisir, avec discernement, la solution la mieux adaptée à chaque cas particulier d'installation.

Eclairage et Chauffage

Les Méthodes Modernes dEclairage, par M. Wetzel, Ingénieur diplômé de l'Ecole Supérieure d'Electricité, Ingénieur à la Compagnie des Lampes· Librairie de l'Enseignement Technique Léon Eyrolles, Editeur, 3 rue Thé-

nard, Paris. Un vol. (16,5 × 25 cm.) de 192 pages et 141 figures. Prix : 22 francs.

La deuxième édition de cet ouvrage qui vient de paraître est le résumé du cours professé par l'auteur à l'Ecole Spéciale des Travaux Publics. Un premier chapitre consacré à l'examen des avantages d'un bon éclairage, est suivi de l'étude des conditions à réaliser pour obtenir ce résultat. Les grandeurs photométriques sont ensuite définies, ainsi que les unités correspondantes et après un rappel des lois fondamentales de la photométrie, l'auteur passe à la mesure des grandeurs photométriques. Il étudie ensuite d'une manière très détaillée les conditions d'établissement d'un projet d'éclairage : choix et distribution des foyers; calcul de leur puissance. A ce propos il donne sous forme de tableaux fort complets la valeur de l'éclairement recommandé dans les différents genres de locaux commerciaux et industriels, ainsi que les coefficients qui interviennent dans le calcul.

Les chapitres qui suivent sont consacrés à des exemples de projets d'éclairage et à l'examen des questions particulières serattachant à l'éclairage des usines et ateliers, magasins, vitrines et bureaux, habitations particulières et voies publiques

Un dernier chapitre est consacré aux applications de l'éclairage à la décoration et à la publicité.

Une illustration abondante rend facile et attrayante la lecture de cet ouvrage qui s'adresse aussi bien aux Ingénieurs Eclairagistes, qu'à toutes les personnes soucieuses d'améliorer l'éclairage des locaux dont elles ont la charge.

Appareillage. — Canalisations

Principles of Electric Power Transmission, par H. Waddicor, B. Sc., A. M. I. E. E., Men. Amer I. E. E. Un volume relié 22 × 14 cm., de 419 pages, 155 figures, 1930, Chapman et Hall. Editeurs 11 Henrietta Street, London W. C. Prix : 21 francs. — (Don de Editeur).

Cet ouvrage, destiné aux étudiants des Universités et Ecoles techniques traite, dans la généralité de la question du transport de l'énergie par courant alternatif.

Après un exposé du problème, l'auteur définit les inductances et capacitances qui interviennent dans le calcul des lignes. Il étudie le transport de l'énergie par lignes courtes, puis par lignes longues, tout d'abord, par la méthode approchée de la décomposition en tronçons, ensuite par la méthode rigoureuse utilisant les fonctions hyperboliques.

Après avoir étudié les conditions d'établissement des lignes, il traite de leur isolement, en particulier des chaines d'isolateur et de la répartition des tensions le long de ces dernières, puis étudie, d'une façon détaillée, l'effet de couronne.

Les chapitres suivants ont successivement pour objet l'étude, la réputation par compensateurs synchrones, celles des câbles souterrains, l'exposé des règles économiques décidant de la section des conducteurs, l'étude des courts-circuits et des surtensions avec celle des systèmes de protection.

L'ouvrage se termine par une étude sur le maximum de puissance transportable au moyen d'un système donné.

A la fin de chaque chapitre, une bibliographie renvoie aux articles et ouvrages utiles à consulter. On doit regretter qu'aucun des auteurs français, dont les travaux sur la question des lignes sont les plus notoires, ne s'y trouve cité.

Quecksilber damffgleichrichter, par D. C. Prince, F. B. Vogdes. Edition allemande par le docteur V. Gramisch. Un volume de 24 × 16 cm. de 190 pages, 172 figures et courbes, 1931. Editeur : R. Oldenbourg München, Gluckstrasse. Prix : 13 m broché, 15 m relié.

Les auteurs, qui ont utilisé les résultats de l'expérience allemande et américaine, se sont efforcés d'éviter les descriptions d'expériences de peu d'intérêt et les développements mathématiques inutiles à l'ingénieur. Ils ont décrit les principes de fonctionnement et de construction des différents types de redresseurs, principalement des redresseurs à vapeur de mercure.

Les questions suivantes ont été successivement traitées : Recherches du Dr Van Issendorffs, et autres travaux concernant l'effet de l'arc dans la vapeur de mercure. Exposé des nouvelles méthodes de construction des redresseurs en verre et des redres-

seurs en acier, et particulièrement des récentes innovations, relatives aux isolateurs de cathode et d'anode. Enfin, étude des questions concernant le couplage des redresseurs hexaphasés et les perturbations dans les lignes à courant faible, provoquées par les redresseurs.

Recherches physiques

Erdstrome, grundlagen der Erdschlun und Erding fragen, Dr. Ing. Franz Ollendorf. Un volume relié 17 × 15 de 260 pages, 164 figures, 1928. Julius Springer, Berlin.

Comme le rappelle l'auteur dans sa préface l'étude des courants dans le sol n'a pas encore été poussée très loin. En effet, si l'étude des circuits linéaires les plus complexes se ramène toujours à la résolution des équations différentielles habituelles, les problèmes correspondant à l'étude des courants dans un milieu conducteur à trois dimensions comportent des équations aux dérivées partielles qui conduisent en général à des calculs longs et complexes.

Grâce à l'application de méthodes de calcul particulièrement bien choisies, l'auteur arrive à résoudre mathématiquement un certain nombre de problèmes relatifs aux courants sous le sol. Ces problèmes font chacun l'objet d'un chapitre du livre.

Parmi les sujets traités il faut mentionner : les prises de terre en terrain homogène, l'influence de l'hétérogénéité du sol, l'étude des courants de retour, l'influence des mises à la terre des réseaux alternatifs sur les lignes à courant faible, la propagation des ondes électromagnétiques dans le sol.

La clarté d'exposition des calculs ainsi que l'élégance des solutions méritent d'être signalées. L'auteur a délibérément écarté de son ouvrage d'une part, toutes les formules et résultats empirique, déduits d'expériences, d'autre part toutes les questions se rapportant aux phénomènes d'électrolyse. Une abondante bibliographie donne d'ailleurs des renseignements précieux aux lecteurs que ces dernières questions pourraient intéresser.

Handbuch der Experimental Physik, Band 11. 3. Teil. Elektrische Belenchtung, par le docteur Helmuth Schering, Schwachstromtechnik par le professeur docteur K. Küpfmüller, un volume relié de 18 × 24, 501 pages, 397 figures, 1931. Akademische Verlagsgesellschaft N. B. H. Leipsig.

Ce volume qui appartient à la collection publiée sous le titre « Handbuch der Experimental Physik » (manuel de physique expérimentale) comprend deux parties, l'une traite de l'éclairage électrique et l'autre de la technique des courants faibles.

Dans le premier chapitre de la partie consacrée à l'étude de l'éclairage électrique, l'auteur rappelle d'abord les différentes grandeurs physiques qui interviennent dans la science de l'éclairage et les lois qui les régissent, il développe en particulier les propriétés du corps noir et des corps gris, ainsi que l'étude du rayonnement d'un certain nombre de corps (carbone, platine, osium).

Dans le second chapitre sont étudiées successivement les différentes sources de lumière électrique (lampes à incandescence, lampes à arc, lampes au néon).

Le troisième chapitre traite de l'utilisation des sources lumineuses et donne les principes suivant lesquels doivent être conçus les appareils d'éclairage. La technique des appareils de projection et des appareils fournissant des éclairages spéciaux (éclairage pour la photographie, éclairage des studios) y est également abordée.

La partie correspondant à l'étude des courants faibles comprend d'abord un chapitre sur la téléphonie dans lequel, après quelques considérations générales, les questions relatives à l'appareillage téléphonique sont traitées dans tous les détails. Ce chapitre contient également une étude sur les lignes téléphoniques (lignes aériennes ou souterraines, câbles de Krarup et Pupin), des considérations sur l'influence des lignes à courant, soit sur les lignes téléphoniques, sur la téléphonie à ondes dirigées et sur la téléphonie par câbles sous marins.

L'auteur aborde l'étude de la télégraphie dans le chapitre suivant; il décrit d'abord les différents types d'appareils télégraphiques, puis étudie le fonctionnement des lignes télégraphiques; il termine en donnant quelques détails sur la transmission télégraphique des images et la vision à distance.

Dans le dernier chapitre sont traitées quelques applications récentes de la technique des courants faibles, la transmission à distance des résultats de mesures, l'enregistrement électrique des sons, la réalisation du film parlant.

Hydro und aéro-dynamik. 1re partie : Etude du mouvement des fluides et technique générale des essais d'après les travaux de Ludwig SCHILLER. Un volume de 24 × 17 cm., 730 pages, avec 431 figures, 1934. Editeur : Akademische Verlagsgesellschapt M. B. H. Leipzig.

Les ouvrages traitant de la dynamique des fluides, qui ont à la fois un caractère scientifique, technique et expérimental, sont relativement rares. Celui-ci, qui fait partie de l'encyclopédie de physique expérimentale de Wien et Harms, possède à un même degré ces différentes qualités. Chaque chapitre et rédigé par un spécialiste de la question traitée. Après une première partie, plus particulièrement théorique, où sont exposés les travaux célèbres d'Euler, de Lagrange, de Bernoulli, de Weber, de Bjerknes, d'Helmotz, etc .. l'ouvrage est consacré à différentes études expérimentales sur le mouvement des fluides incompressibles et compressibles qui seront un guide précieux en vue des applications et des essais.

Les hydrauliciens y trouveront en particulier l'exposé d'une question à l'ordre du jour : celle de la cavitation dans les turbines.

Kulfiertechnische Badenemtersuchuugen nût Besonderer Berücksichtung der Strangentfernung. — LAURI KESO. — Une brochure 17 × 15 de 54 pages, 1930. — HELSINKI.

Dans cette brochure, l'auteur développe une méthode pour étudier, au point de vue agricole, les procédés physiques d'un terrain. Cette méthode est basée sur les observations faites en laboratoire sur une éprouvette prélevée dans des conditions spéciales.

Il montre notamment comment l'on peut déterminer la teneur du sol en humus, sa consistance, son hygroscopie, sa perméabilité, et il donne une classification des différentes natures du sol avec leurs propriétés.

Il met ensuite en évidence comment la connaissance de ces propriétés permet de déterminer scientifiquement les conditions dans lesquelles doivent être exécutés le drainage d'un terrain et en particulier de fixer l'écartement à donner aux canaux de drainage.

Les Applications des rayons X, Physique, Chimie, Métallurgie; recueil des conférences rapports de documentation sur la physique, par J. J. TRILLAT, docteur ès sciences. Un volume relié de 25 × 16 cm de 298 pages, 108 figures, 16 planches, de 45 photographies, 1930. — Les Presses Universitaires de France, 49, boulevard Saint-Michel, Paris, Ve. (Don des Editeurs).

Dans la première partie de cet ouvrage, abondamment illustré, l'Auteur après avoir rappelé quelques généralités sur les propriétés et la théorie des rayons X, examine en détail les divers appareils utilisés pour la production des rayons X (Tubes appareils producteurs de haute tension, pompes, dispositifs de production).

La deuxième partie de l'ouvrage est consacrée à la spectrographie par les rayons X et à ses applications à l'étude des métaux, à la chimie minérale et à la chimie organique. L'Auteur examine en particulier l'étude des substances colloïdales, des composés cellulosiques, du caoutchouc, des résines, gélatines, etc..

Les derniers chapitres sont consacrés à la diffraction des rayons X par les liquides, à leur utilisation en analyse chimique qualitative et quantitative et aux diverses applications de la radiographie.

Les rayons X (Théorie et applications), par Jean THIBAUD, docteur ès-Sciences, Ingénieur E.S.E., Directeur adjoint du Laboratoire de Physique des rayons X, Un volume de 17 × 11 cm de 218 pages, de 77 figures. Editée par la Librairie Armand Colin, 103, boulevard Saint-Michel, Paris

Cet ouvrage, qui résume un cours professé à la Chaire française de l'Université de Louvain, expose le rôle joué par les rayons X dans le développement de la physique atomique et moléculaire.

L'auteur y rappelle d'abord les propriétés des rayons X, considérés comme radiations électromagnétiques et les théories de leur diffusion et de leur diffraction par les milieux cristallins.

La deuxième partie de l'ouvrage est consacrée à la théorie des Quanta des rayons X, à leur spectrographie et aux phénomènes d'ionisation.

Après avoir décrit les appareils producteurs de rayons X et les méthodes utilisées en spectrographie, l'Auteur examine les applications des rayons X à la cristallographie et à l'étude des structures.

Un dernier chapitre est consacré aux radiations connues des rayons X (rayon gamma et rayons X de grandes longueurs d'onde).

Proceedings of The American Philosophical Society. (Philadelphie 1930). Un volume de 17 × 25 cm de 396 pages. Edité par The American philosophical Society, 104 South Fifth Street.

Ces compte rendus qui se rapportent dans leur ensemble à des questions étrangères aux occupations habituelles de notre Société sont intéressants par leur caractère scientifique et par l'éclectisme des sujets traités. Les articles se rapportent, en général, à des sujets se rattachant à la biologie. On y trouvera en particulier une originale interprétation électrochimique de la mémoire.

Législation

Précis de propriété industrielle, par Rouyer Ingénieur-Conseil ou propriété industrielle. Un volume 15 × 24, 30 pages, broché, année 1930. 8 boulevard Saint-Martin, Paris X^e^. (Imprimerie Henriot, 20 rue Gerbert).

Cet ouvrage donne toutes les indications nécessaires pour guider les inventeurs, industriels ou commerçants qui désirent protéger une invention, une marque ou un modèle déposé. C'est un simple guide fort utile qui évitera les fausses manœuvres susceptibles de supprimer les garanties que l'intéressé aurait voulu obtenir, mais dont les indications demandent à être complétées par l'avis particulier, sur chaque cas considéré, d'un ingénieur-conseil en la matière. Tel que il est susceptible de rendre de très intéressants services aux catégories de personnes ci-dessus, en donnant les grandes lignes du mode opératoire à utiliser suivant qu'il s'agit d'inventions entièrement nouvelles, d'améliorations de détail, de marques de fabrique, de nom ou de modèle déposé.

Mathématiques

Applications du Calcul Différentiel et Intégral, par D. Leib, professeur de Mathématiques au Collège Connecticut de l'Université de Yale. (Traduit de l'Anglais par A. Sallins) préface de L. Potin, de la *Revue Général des Sciences*. Un volume broché 16 × 24, 306 pages, 9 figures. Librairie scientifique Albert Blanchard 33 *bis*, rue de la Sorbonne. Paris (Edition 1930). Prix : 42 francs.

Cet ouvrage rédigé dans un but essentiellement pratique constitue un recueil de 3.500 exercices d'analyse judicieusement choisis et de difficulté progressivement graduée. Chaque série d'exercices est précédée d'un rappel théorique destiné à guider le lecteur et qui résume brièvement, mais avec précision, les principes à utiliser : quelques exemples, complètement traités précisent le détail des calculs dans les cas les plus typiques. Les solutions de la plupart des questions proposées sont d'ailleurs rassemblées à la fin de l'ouvrage et permettant au lecteur de contrôler son calcul.

En raison de la diversité et de la multiplicité des exercices proposés, ainsi que de l'originalité de son caractère pédagogique, cet ouvrage sera lu avec intérêt par les élèves des écoles techniques ainsi que par les candidats aux certificats de mathématiques générales et même d'analyse désirant se familiariser avec les particularités du calcul différentiel et intégral.

Leçons sur le Calcul vectoriel, par T.-A. Ramos Professeur à l'Ecole polytechnique de Sao Paolo, membre de l'Académia Brasilara de Sciencias. Un

volume de 25 × 16,5 cm., de 120 pages, 1930. Editeur : Librairie Scientifique Albert Blanchard, 3 et 3 *bis*, place de la Sorbonne, Paris. Prix : 25 francs.

Ces leçons sur le calcul vectoriel ont été professées par M. Ramos à l'Ecole Polytechnique de Sao-Paolo (Brésil). Elles s'adressent aux étudiants désireux de poursuivre des études de physique théorique. Après avoir exposé les éléments de l'algèbre vectorielle, l'auteur étudie les fonctions de point, définit leur dérivée suivant une direction et introduit la notion de gradient. Il envisage ensuite les courbes et les surfaces hodographes de fonctions vectorielles et étudie leurs propriétés géométriques

Après avoir introduit les notions de tourbillon. de divergence de la placien il montre leur application à différentes questions de physique mathématique. Le dernier chapitre est consacré aux transformations de coordonnées, à la notion de tenseur qu'on rencontre dans la théorie de la relativité généralisée : il est complété par une introduction au calcul tensoriel.

Cet exposé, relativement élémentaire et nullement ennuyeux. de questions quelquefois arides : sera apprécié par tous ceux qui désirent aborder l'étude de certaines théories de la physique moderne.

Le premier principe : rien n'est arbitraire. La Mécanique fondée sur la la théorie des chocs durs, par ZAREH NUBAR, un volume de 15 × 24 cm, ne 400 pages, broché : 50 francs, 1930. Librairie Scientifique, Albert Blanchard, 3, Place de la Sorbonne, Paris.

Cet ouvrage a pour objet de démontrer que toute la mécanique peut être fondée sur un principe unique, différent des postulats généralement admis comme bases de la mécanique euclidienne ou des théories relativistes. Le principe dont parle l'auteur est celui du non arbitraire autrement dit du déterminisme. Il fait intervenir un certain nombre de définitions nouvelles et il reprend dans le cours de l'ouvrage un très grand nombre de démonstrations de théorèmes de mécanique en partant de ce principe unique dont il montre l'universalité de l'application. Cet ouvrage sera lu avec intérêt par ceux qu'intéressent les hypothèses nouvelles sur la constitution de la matière et leurs relations avec les théories récentes sur la mécanique.

Les statistiques quantiques et leurs applications par Léon BRILLOUIN Professeur à la Sorbonne, Recueil des conférences. rapports de documentation sur la physique. Deux volumes reliés de 25 × 16 cm., de 404 pages, 47 figures, 1930. Edité par Les Presses Universitaires de France, 49, boulevard Saint-Michel, Paris (5^e^).

Cet ouvrage étudie successivement le rayonnement thermique, les lois de Kirchhoff, de Stefan et de Wien, les quanta et l'hypothèse des photons, la thermodynamique statistique, les statistiques quantiques, la statistique du rayonnement, la statistique de Fermi, appliquée aux électrons libres des métaux, l'évaluation du libre parcours moyen des électrons, le gaz électronique dégénéré et la répartition du potentiel électrique, la structure de l'atome, l'atome quantifié, sa dissociation et la probabilité de ses diverses configurations quantiques.

Le livre se termine par un appendice mathématique donnant les formules relatives au milieu dispersif et rappelant les notions d'analyse combinatoire.

Probabilités et statistiques, par R. de MONTESSUS de BALLORE, Docteur ès Sciences Lauréat de l'Institut. Un vol. broché 16 × 25 cm. 205 pages, 17 figures, 1931. Edité par la Librairie scientifique Hermann, 6 rue de la Sorbonne.

Ce volume fait partie des leçons professées à l'Office National Météorologique de France. Il contient le résumé des travaux que l'auteur a fait paraître depuis sept ans dans les annales de la Société scientifique de Bruxelles. L'auteur s'est préoccupé des moyens mathématiques à employer pour symplifier les calculs auxquels conduit l'étude de l'application du calcul des probabilités aux statistiques. L'ouvrage débute par un rappel des éléments de ce calcul et se suffit par conséquent à lui-même. Les deux premiers tiers de l'ouvrage sont consacrés à l'étude des diverses formes de probabilités : simples, composées, renforcées, aux épreuves répétées, etc. Le dernier tiers comprend

l'étude de l'application des lois établies aux statistiques diverses. L'auteur s'attache particulièrement à éviter les erreurs de raisonnement en précisant soigneusement les conditions dans lesquelles ses calculs s'appliquent.

Profil d'aviation à centre de poussée fixe, par Stefan NEUMARK. Un volume broché de 30 × 21 cm., de 69 pages, 17 figures, 9 tables, Warszarda Nakladem Instytutu aerodynamicznego, 1930, Editeurs.

L'auteur étudie les variations et la direction de la résultante des pressions sur une surface à profil voisin de ceux pratiqués actuellement dans l'aviation, quand l'angle d'incidence varie. Il montre que cette résultante enveloppe une certaine courbe appelée courbe métacentrique. Il signale que l'expression « centre de poussée » communément employée, est vicieuse, ce centre n'existant pas. L'ouvrage a pour but d'étudier l'établissement de profils tels que le centre de poussée existe effectivement et soit fixe quelque soit l'angle d'attaque du bord de l'aile. Leur avantage consiste dans la plus grande résistance mécanique que l'on peut donner à ces profils et dans la qualité particulière pour faciliter l'exécution des volts piqués.

CONGRÈS. — EXPOSITIONS

Statistique de la production et de la distribution de l'énergie électrique au 1er janvier 1929. Un volume 13 × 21 cm., de 91 pages Edité par l'Imprimerie, Nationale.

Cette brochure éditée par le Service central des forces hydrauliques et des distributions d'énergie électrique du Ministères des Travaux Publiques, contient dix tableaux résumant les données statistiques de la production et de la distribution : Puissance installée et puissance normale disponibles des usines hydrauliques et thermiques, caractéristiques des réservoirs d'au moins 1 million de mètres cubes, production et distribution de l'énergie par département pour l'année 1928, consommation pendant cette même année, communes non électrifiées, développement de la consommation de 1923 à 1928, importance relative des réseaux de distribution en fonction de l'énergie distribuée.

Zur Erinerrung au das Goldene Jubilâum de Elektrotechnischen Verein (en souvenir du cinquantième anniversaire de l'Association des Electriciens). Une brochure de 21 × 26 de 63 pages, 27 figures. Editée par l'Elektrotechnische Verein. Berlin.

Cette brochure donne le compte rendu de la séance solennelle tenue à Berlin le 24 janvier 1930 par l'Association allemande des Electriciens (Elektrotechnische Verein) pour commémorer le cinquantième anniversaire de sa fondation.

Elle contient le texte *in extenso* des discours qui ont été prononcés et elle reproduit les lettres et les télégrammes de félicitations reçues par l'Asssociation, ainsi que les commentaires de la presse.

Compte rendu de la deuxième conférence mondiale de l'énergie. Tome 1. Utilisation de l'Electricité volume 17 × 24 cm. de 600 pages avec figures Edité par G. V. D. I. Berlin 1930.

Ce volume contient les rapports présentés à la Conférence Mondiale de l'Energie au sujet de l'Utilisation de l'Electricité. Il est divisé en deux parties. La première partie groupe les rapports relatifs aux applications de l'Electricité, à l'économie ménagère et à l'agriculture. Dans la seconde partie sont rassemblés les rapports concernant les applications de l'Electricité à l'industrie et aux métiers.

Dans chacune de ces parties l'on trouve après la reproduction *in extenso* des rapports, un rapport général reproduit en français, allemand et anglais donnant le résumé de chacun des rapports. A ce rapport général est joint la liste des propositions de discussion, le compte rendu abrégé de la discussion et le résumé des résultats acquis au cours de la discussion.

La liste des différents rapports présentés est indiquée ci-après, ces rapports sont rédigés soit en français, soit en anglais, soit en allemand.

1° Application de l'Electricité à l'économie ménagère et à l'agriculture.

La fourniture d'électricité à la maison et à la ferme envisagée au point de vue économique.

Les plus récentes applications de l'électricité à l'agriculture.

Les illuminations et les enseignes lumineuses comme facteurs de vente de l'électricité.

L'électricité à la maison et à la campagne en Allemagne.

Considérations sur l'utilisation économique de l'électricité pour l'élairage.

L'électrification d'une grande ferme.

Applications de l'énergie électrique pour l'irrigation et l'agriculture en Italie.

Utilisation de l'électricité dans l'industrie génicole au Japon.

Chauffage électrique des couches en Norvège.

Laboratoire d'essai de la Centrale de la ville de Vienne.

Utilisation de l'énergie électrique pour l'agriculture en Grèce.

Résultats et recherches correspondant à l'utilisation de l'électricité pour l'agriculture en Suède.

Développement des usages domestiques de l'électricité aux Etats-Unis.

Application de l'électricité aux usages domestiques.

2° Applications de l'électricité à l'industrie et aux métiers.

Développement actuel de l'industrie électrochimique et électrométallurgique en Italie

Revue des électrochimiques au Japon.

L'énergie dans l'industrie électrochimique

Les industries électrolytiques en Allemagne

Applications de l'électricité aux travaux de constructions métalliques.

Applications du chauffage électrique à l'industrie en Autriche.

Applications du chauffage électrique à l'industrie en Allemagne.

Le chauffage électrique industriel considéré du point de vue économique.

Nouveaux moyens pour améliorer l'utilisation des centrales électriques.

Le développement de la technique de l'éclairage considéré du point de vue de la sécurité des ouvriers.

Augmentation de la production du fait de l'amélioration de l'éclairage.

Utilisation de l'énergie électrique par les stations de radiodiffusion.

Nettoyage électrique des gaz.

Les avantages retirés de l'utilisation de la force motrice électrique dans l'industrie.

Tome 2 Production et utilisation du gaz volume 17 × 24 cm, de 525 pages avec figures. Edité par C. V. D. I. Berlin 1930.

Ce volume contient sur le même plan que le tome I est divisé en deux parties. La première partie groupe les rapports relatifs aux problèmes économiques de la distillation du charbon à haute température. Dans la seconde partie sont rassemblés les rapports sur la vente du gaz.

La liste des différents rapports est indiquée ci-après.

1° Problèmes économiques de la distillation de charbon à haute température.

L'industrie suisse du gaz.

L'influence des variations de prix du coke et des sous produits sur le prix de revient de la fabrication du gaz.

L'extraction du Benzol dans l'industrie du gaz en Angleterre.

Les sous produits liquides des industries du gaz et du coke en Grande-Bretagne.

Commentaires relatifs à quelques résultats d'expériences sur la condensation réfrigération du gaz d'éclairage en France.

Production du gaz par pression et abaissement de température.

L'industrie de l'ammoniaque synthétique.

Pratique des gazogènes en Angleterre.

Production de gaz à partir de charbons médiocres.

Utilisation de déchets pour la production de gaz.

2° Vente de gaz :

L'industrie du gaz en République Argentine.

Inflammabilité et pouvoir calorifique du gaz.

Importance des sous-produits des fours à coke dans l'industrie américaine du gaz,

Relations entre les prix du gaz et des sous-produits.
Les combustibles gazeux considérés du point de vue économique.
Le gaz naturel source d'énergie aux Etats-Unis.
Les usages du gaz mis en bouteilles sous haute pression.
La technique des appareils domestiques à gaz.
Élévation de la pression de distribution et régulateurs et pression répartis.
Opportunité du développement des différents modes d'ulisation du gaz.
Mesures pour favoriser le développement de l'utilisation du gaz en Grande-Bretagne.
Moyens d'améliorer l'utilisation des usines à gaz.
Extension des services de distribution de gaz aux Etats-Unis et amélioration du facteur de charge des usines.
Tarif de vente du gaz en Allemagne.

Formulaires. — Manuels

Tecnica degli impianti elettrici, par Ingénieur Emilio Piazzoli. 2 volumes 16 × 105 cm formant 1230 pages avec 605 figures, 1922 (1er volume), 1929 (2e volume). Éditeur : Ulrico Hoepli, Milano. Prix de chaque volume : 28 lires.

On peut comparer cet ouvrage, très documenté et très à jour, aux aide-mémoire bien connus en France, de Laharpe, hospitalier ou similaires. Il comprend actuellement 2 volumes d'un format commode. Un 3e doit être publié prochainement.

Le premier volume est consacré aux lois générales de l'électricité, aux méthodes et appareils de mesure, aux machines, transformateurs et accumulateurs. Il comprend un chapitre sur les règles de normalisation du matériel électrique.

Le 2e volume a pour objet l'étude de la transmission et de la distribution de l'énergie. Les lignes aériennes et souterraines y sont envisagées tant au point de vue du calcul que des conditions d'établissement. L'ouvrage est complété par une étude très documentée sur le gros appareillage et les postes à haute tension et par un exposé des systèmes et appareils de protection de toute nature.

IL Y A TRENTE ANS

Assemblée Générale Annuelle
et
Réunion ordinaire mensuelle du 3 avril 1901

Présidence de M. E. SARCIAUX, *Vice-Président*.

M. P. PERRIN fait une communication sur *les instruments de mesures électriques enregistreurs*.

M. PERRIN donne une description très complète des différents types d'enregistreurs électriques qui ont figuré à l'Exposition Universelle de 1900, à l'exception des oscillographes et rhéographes déjà présentés antérieurement à la Société par leurs auteurs MM. BLONDEL et ABRAHAM.

Après avoir énuméré les divers modes d'inscription qui absorbent le moindre travail, il expose la méthode de l'emploi pour le tracé des diagrammes d'une force auxiliaire produite par un servo-moteur électrique (Richard) ou par un servo-moteur mécanique (Callendar).

La monographie, illustrée de photographies très claires, comporte les enregistreurs Ducretet, Siemens et Halske, Allgemeine Electricitats Gesellschaft, Chauvin et Arnoux, Hartmann et Braun, Kelvin, Meylan ou du Laboratoire Volta, Richard.

M. JACQUIN signale les différentes applications des appareils électriques enregistreurs au matériel roulant.

M. P. JANET expose les principaux résultats obtenus au Laboratoire Central d'Electricité au sujet des *essais sur la qualité isolante des gants d'électriciens* entrepris à la demande de l'Association des Industriels de France contre les accidents du travail.

Les mesures de la résistance électrique de 6 gants isolants de modèles différents effectués à sec ou à l'humidité sous une tension de 105 V ont donné des résultats très divers, ainsi que les mesures de percement.

M. HARLÉ est nommé *Président* pour l'exercice 1902-1903 et M. GROSSELIN, *Secrétaire général*.

M. HILLAIRET, *Président* pour l'exercice 1901-1902, succède à M. E. MASCART qui est nommé *Président honoraire de la Société*, à l'unanimité des membres présents.

BAR-LE-DUC. — IMP. COMTE-JACQUET *Le gérant :* Alfred MAGNIER.

5e série, tome I, n° 5. Mai 1931

BULLETIN
DE LA
SOCIÉTÉ FRANÇAISE
DES
ÉLECTRICIENS

SOMMAIRE

(1) La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses Membres dans les discussions, ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

SEMAINE DE DISCUSSIONS DE NOVEMBRE 1930

COMPTE RENDU STÉNOGRAPHIQUE DES DISCUSSIONS

(SUITE)

Séance du Mercredi 26 Novembre 1930

1re SECTION. — PRODUCTION ET UTILISATION MÉCANIQUE DE L'ÉLECTRICITÉ

SOMMAIRE

Présidence de M. Darrieus.
Ingénieur à la Cie Electromécanique.

M. Bunet présente son rapport sur la *Détermination des données caractéristiques des transformateurs* (1) et le complète comme suit ;

Je désire ajouter quelques explications, et tout d'abord répondre aux observations de MM. de Pistoye et Darrieus figurant dans le bulletin après ma note.

1. — Je suis tout à fait d'accord avec M. de Pistoye, en ce qui concerne les pertes élevées qu'on peut avoir en cas de dissymétrie et notamment de différences de hauteur entre enroulements. Les formules que je cite s'appliquent, comme je le dis, au cas où les lignes de force sont, pour le plus grand nombre, toujours normales au sens de l'épaisseur. J'indique également que s'il y a une dissymétrie conduisant à des pertes bien plus grandes que celles que l'on peut calculer ou mesurer avec des hauteurs égales, ces pertes supplémentaires décroissent d'autant moins avec la température qu'elles sont plus élevées par rapport aux pertes dites normales.

2. — Les remarques de M. de Pistoye au sujet de considérations physiques simples sur la variation des pertes supplémentaires avec la température ne me semblent pas toutes justifiées. Si nous avons un conducteur épais, seul par exemple, nous pouvons découper des circuits dans sa section ; sur l'un d'eux, traversé par un flux résultant Φ, il y aura une force électromotrice $u = \frac{d\Phi}{dt}$ et un courant $i = \frac{u}{R}$. Ou bien, comme le fait M. de Pistoye, on peut considérer un flux Φ' fictif qui existerait s'il n'y avait pas de courants induits, en tirer

$$u = \frac{d\Phi'}{dt} \qquad \text{et} \qquad i = \frac{u}{\sqrt{R^2 + L^2\omega^2}}$$

est alors un coefficient d'induction ou de réaction d'induit.

On peut considérer des circuits dans diverses positions, comme A et B (figure 1).

Si l'on suppose ω faible, et $L\omega$ toujours négligeable, on a approximativement $i = \frac{u'}{R}$ et si R augmente avec la température, comme $(1 + \alpha t)$, la puissance dissipée $\frac{u'^2}{R}$ diminue comme $1 : (1 + \alpha t)$.

(1) *Bulletin de la Société française des Electriciens*, 4e série, t. X, no 107, juillet 1930, p. 705.

Mais on ne peut dire que, dans le cas de ω élevé, R devient négligeable et que l'on a $i = \frac{u'}{L\omega}$, ce qui conduirait à des pertes Ri^2 augmentant avec la température comme R lui-même, selon la loi $(1 + \alpha t)$. Avec la conception de M. de Pistoye, il faudrait pour le circuit A périphérique prendre $R = L\omega$ et non pas R négligeable ; pour un circuit B central dans lequel il ne passe pas de courant, $R\omega$, n'a pas de signification, à moins qu'on ne le fasse infini.

En réalité, comme je l'ai montré, et notamment sur l'exemple simple

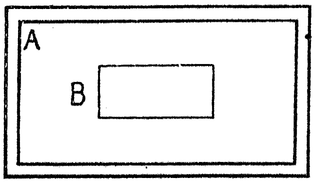


Fig. 1.

du § 5, la loi est un accroissement des pertes selon $\sqrt{1 + \alpha t}$; elle est liée à $R = L\omega$ de l'effet de peau.

3. — M. Darrieus observe que la formule, tirée du travail de Sommerfeld, donnant les pertes supplémentaires dans les conducteurs, doit coïncider avec les formules usuelles établies pour les faibles fréquences. Cette vérification est aisément faite.

Comme $\beta = 2\frac{e}{\varepsilon}$ est petit, $R = R_c \frac{1 + 15M}{2880} \beta^4$, où m est le nombre de couches supposé plus grand que 3, avec $M = \frac{4}{3} m^2$. De là on tire

$$R = R_c\left(1 + \frac{16}{9} m^2 \frac{e^4 f^2}{\rho^2} 10^{-16}\right),$$

en négligeant 1 à côté de 15M.

[En passant, notons une forme simple pour le cuivre, avec $\rho = 2.10^{-6}$ et $f = 50$; c'est $R = R_c\left(1 + \frac{m^2}{9} e^4\right)$].

Revenons au cas général ; le supplément de résistance sur celle mesurée en courant continu est

$$\frac{16}{9} R_c m^2 \frac{e^4 f^2}{\rho^2} 10^{-16}.$$

D'où, pour un conducteur de section $e \times h$ la perte volumique supplémentaire

$$\frac{16}{9}\,\frac{m^2 e^2 f^2 I^2}{h^2 \rho}\,10^{-16}\ \mathrm{W : cm^3}.$$

Si nous introduisons le champ de dispersion, cause de ces pertes supplémentaires, nous aurons (fig. 2).

$$\mathcal{H}_{max} = \frac{4\pi}{10}\,\frac{m}{h}\,I\sqrt{2},$$

et, comme le champ agit par son carré, si nous prenons la valeur maximum du champ moyen par la racine carrée de la moyenne des

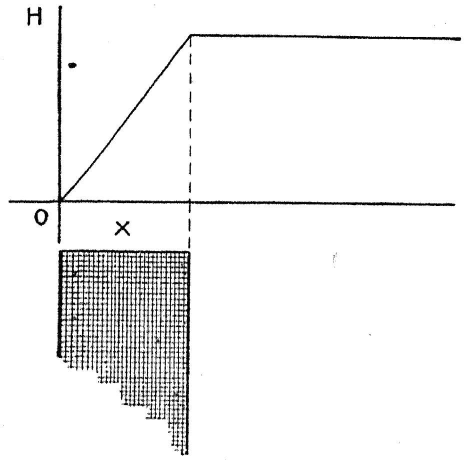


Fig. 2.

carrés des champs maximum sur toute l'épaisseur de la bobine, soit

$$\mathcal{H}^2 = \frac{1}{X}\int_0^X \mathcal{H}^2_{max}\,\frac{x^2}{X^2}\,dx = \frac{\mathcal{H}^2_{max}}{3}.$$

La perte volumique supplémentaire devient alors

$$\frac{100}{6\pi^2}\,\frac{e^2 f^2 \mathcal{H}^2}{\rho}\,10^{-16}\ \mathrm{W : cm^3},$$

le coefficient étant 1,68.

La formule courante, soit $e^2 f^2 \mathcal{H}^2 10^{-16}$ W : cm³, pour le cuivre en pratique, s'obtient en supposant $\mathcal{H}$ constant et en découpant dans le conducteur d'épaisseur radiale e de longs rectangles sièges de courants induits élémentaires.

On arrive ainsi à

$$\frac{\pi^2}{6}\,\frac{e^2 f^2 \mathcal{H}^2}{\rho}\,10^{-16}\ \mathrm{W : cm^3}.$$

Les deux formules sont identiques pour autant que $\pi^2 = 10$; le coefficient de la seconde est 1,65.

L'accord est donc très satisfaisant. On ne peut espérer qu'il soit absolument rigoureux, car la première formule n'est que l'expression algébrique, très approchée du reste, d'une formule bien plus compliquée ; la seconde découpe des rectangles symétriques, ce qui n'est plus tout à fait exact quand le champ n'est plus constant.

4. — L'autre remarque de M. Darrieus se rapporte au rapport du coefficient de dispersion λ par lequel il faut multiplier le courant à vide et la pulsation pour obtenir la chute de tension à vide $\lambda\omega I_0$ (en corrigeant si nécessaire de $r_1 I_0$ comme indiqué à la figure 3 de notre

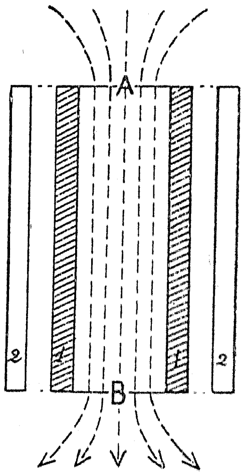


Fig. 3.

note, page 709) au coefficient de dispersion l déterminé comme d'usage par l'essai en court-circuit. M. Darrieus fait judicieusement observer que ce rapport, qui est voisin de 1 lorsque, dans le cas d'enroulements concentriques, le primaire est à l'extérieur, est égal à zéro ou presque si le primaire est à l'intérieur. Ceci ne serait tout à fait exact que si les enroulements étaient de longs solénoïdes sans fer. Sans fer et avec cylindres longs, la réluctance est tout entière entre A et B et nulle à l'extérieur (fig. 3). Avec fer non saturé, la réluctance est nulle de A à B et tout entière à l'extérieur; il en résulte que, entre 1 et 2, il y a retour de flux plus grand dû à la présence du fer, d'où une chute de tension à vide dont l'expérience donne toujours la preuve (fig. 4).

D'autre part, j'ai, dans ma note, traité ce point assez rapidement, en indiquant que l'adoption de $\frac{l}{2}$ (correspondant à deux bobines additionnelles fictives ajoutées à chacun des enroulements), admise par

certains, ne correspond pas à une réalité. J'ai terminé par : « S'il en est autrement il vaut mieux regarder de plus près ». C'est ce que je voudrais faire.

Prenons deux bobines concentriques parcourues par des courants égaux et contraires. Si l'espace annulaire entre ces deux bobines est petit par rapport à leur hauteur, on admet que les lignes de force du flux de dispersion forment un faisceau à peu près parallèle à l'axe, avec un champ $\frac{4\pi ni}{l}$ uniforme dans l'intervalle, s'atténuant linéai-

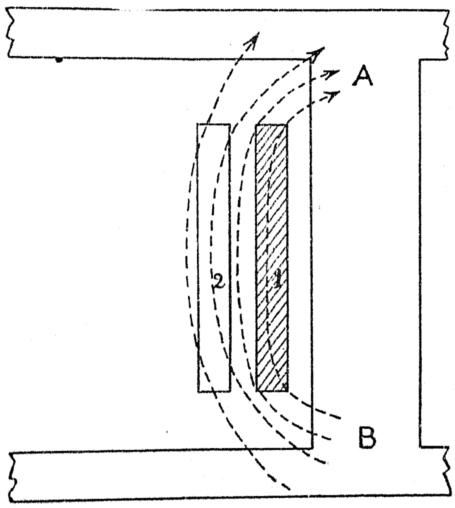


Fig. 4.

rement dans l'épaisseur des enroulements ; l'expérience justifie un tel calcul du coefficient de dispersion l.

Faisons passer un courant dans un enroulement seul. Si c'est un solénoïde très long, on obtient un champ uniforme à l'intérieur, qui s'annule progressivement en traversant la bobine et devient nul à l'extérieur. Si la bobine est de faible hauteur, le champ n'est plus uniforme à l'intérieur ; il n'est plus nul à l'extérieur, le long des parois externes surtout. En introduisant un noyau de fer, on change encore plus ou moins la distribution du flux dans l'air.

En alimentant par la bobine extérieure, la dispersion créée par le courant à vide détermine une chute de tension dans la bobine intérieure, correspondant à un coefficient λ, qui sera égal à l pour des bobines minces de longueur infinie. Avec des formes pratiques, λ restera de l'ordre de l, s'en éloignant davantage probablement pour des bobines très courtes ; généralement on a alors $\lambda < l$.

Il faut voir enfin si l'on doit prendre $\lambda\omega I_0$, I_0 étant le courant efficace à vide, ou seulement $\lambda\omega J_0$, J_0 étant le terme de fréquence fondamentale. Il faut, en fait, ne prendre que J_0 ce qui revient à garder I_0 et à adopter λ plus petit, très sensiblement quand la saturation est élevée.

Faisons cette expérience représentée par la figure 5. On applique une tension U_1 à un enroulement de transformateur. On oppose la tension du second enroulement, de même nombre de spires, à circuit ouvert, et on lit ΔU sur un appareil thermique convenable. Si le courant i_0 est sinusoïdal, ce qui a lieu presque exactement aux faibles inductions,

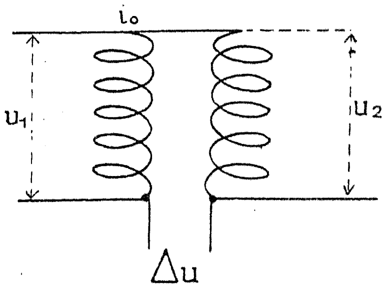


Fig. 5.

nous aurons à peu près (V. fig. 3 de la page 709, Bulletin de juillet 1930):

$$U_2 = U_1 - \Delta U$$

et

$$\Delta U = \sqrt{\lambda^2\omega^2 + r_1^2}\, I_0,$$

se réduisant souvent à $\lambda\omega I_0$.

Avec un courant magnétisant non sinusoïdal il n'en est plus de même et, si l'on divise ΔU par I_0 on trouve une valeur trop forte pour $\lambda\omega$ ou $\sqrt{\lambda^2\omega^2 + r_1}$, si r_1 n'est pas négligeable.

Posons

$$i_0 = J_0 \sin \omega t + J_3 \sin 3\omega t + J_5 \sin 5\omega t + \cdots,$$

l'ampèremètre thermique nous indiquera

$$I_0 = \sqrt{J_0^2 + J_3^2 + J_5^2 + \cdots}.$$

Le voltmètre thermique nous indiquera

$$\Delta U = \lambda\omega\sqrt{J_0^2 + 9J_3^2 + 25J_5^2 + \cdots},$$

puisque

$$\Delta u = \lambda\omega J_0 \cos \omega t + 3\lambda\omega J_3 \cos 3\omega t + 5\lambda\omega J_5 \cos 5\omega t + \cdots$$

et

$$\frac{\Delta U}{I_0} = \lambda\omega \frac{\sqrt{J_0^2 + 9J_3^2 + 25J_5^2 + \cdots}}{\sqrt{J_0^2 + J_3^2 + J_5^2 + \cdots}}$$

Supposons par exemple que, au-dessus de 15 000 gauss, une qualité de tôles donne des harmoniques 3 et 5 très développés dans le courant, comme

$$i_0 = J_0(\sin \omega t + 0{,}5 \sin 3\omega t + 0{,}3 \sin 5\omega t).$$

Alors

$$\frac{\Delta U}{I_0} = \lambda\omega \frac{\sqrt{1 + 9 \times 0{,}25 + 25 \times 0{,}09}}{\sqrt{1 + 0{,}25 + 0{,}09}} = 2\lambda\omega$$

et non pas $\lambda\omega$.

La chute de tension du transformateur à vide ne sera pas ΔU. Nous aurons en effet, à très peu près :

$$U_1 \cos \omega t = U_2 \cos \omega t + \lambda\omega J_0 \cos \omega t + 3\lambda\omega J_3 \cos 3\omega t + 5\lambda\omega J_5 \cos 5\omega t + \cdots$$

où

$$U_1 = \sqrt{(U_2 + \lambda\omega J_0)^2 + 9\lambda^2\omega^2 J_3^2 + 25\lambda^2\omega^2 J_5^2 + \cdots} = U_2 + \lambda\omega J_0$$

à très peu près.

La chute de tension est donc $\lambda\omega J_0$ et non $\lambda\omega I_0$.

Par exemple

$$U_2 = 100 ; \qquad \lambda\omega J_0 = 0{,}5 ; \qquad \lambda\omega J_3 = 0{,}25 ; \qquad \lambda\omega J_5 = 0{,}15.$$

$$U_1 = \sqrt{(100 + 0{,}5)^2 + 9 . 0{,}25^2 + 25 . 0{,}15^2} = 100{,}506.$$

La chute de tension, ou différence des tensions efficaces du primaire et du secondaire est ainsi 0,506, tandis que $\Delta U = 1{,}17$ et $\lambda\omega J_0 = 0{,}5$.

Prenons maintenant l'alimentation par la bobine intérieure. On trouverait à la limite $\lambda = 0$ s'il n'y avait pas de fer et des bobines de longueur infinie. En pratique il y a un flux de retour comme sur la figure 4 la réluctance comprenant une certaine longueur de fer et une longueur d'air plus forte que la hauteur de la bobine. Donc, même avec du fer peu saturé, on aura $\lambda < l$, et, si la longueur dans l'air est le double de la hauteur de la bobine, on obtiendra tout au plus $\lambda = \frac{l}{2}$.

Lorsque le fer se saturera, λ diminuera par suite de l'augmentation de réluctance du fer. Les harmoniques du courant agiront beaucoup moins pour relever le ΔU observé dans l'essai de la figure 5, puisque le fer a besoin de ces harmoniques pour que s'y développe un flux sinusoïdal, ou bien le flux entre bobines reste une dérivation du flux total passant dans le fer qui est sinusoïdal comme la tension primaire appliquée.

Il m'a paru intéressant de procéder à quelques expériences de vérification et j'ai profité de ce que j'ai repris quelque service dans la construction électrique avec le Matériel SW pour les demander à l'usine de Champagne. Le temps a manqué pour les compléter autant que je l'au-

rais désiré. Elles suffisent cependant pour apporter une vérification à ce qui précède.

Elles reproduisent la figure 5. On a traité Δu comme s'il était sinusoïdal, ainsi que i_0; on a tiré $\sqrt{\Delta u^2 - r_1^2 i_0}$ que l'on a appelé $\lambda' \omega$, puis $\lambda' : l$.

Nous devons ainsi trouver, avec l'alimentation pour l'extérieur, une valeur de λ' plus forte que λ réel, peu aux basses inductions, beaucoup plus aux inductions élevées, λ réel ne variant qu'assez peu. Avec alimentation par l'intérieur λ' doit être plus faible que dans l'autre cas, la moitié à peu près aux basses inductions. Il se rapproche davantage du λ réel à toutes inductions, et ce λ réel diminue quand l'induction augmente.

On a pris une partie magnétique de transformateur triphasé, de fréquence 50 p : s, de 10 kVA et on s'en est servi pour construire divers appareils monophasés avec deux bobines circulaires concentriques sur le noyau central.

La section nette de fer est 39,6 cm²; la hauteur libre est 30 cm. Un premier enroulement de 120 spires en 3 couches, en fil de 5,5 mm de diamètre, de rayon moyen 5,4 cm, fut entouré successivement d'autres enroulements semblables mais de plus grand rayon, de telle sorte que la distance radiale entre le premier enroulement et chacun des autres, fut successivement de 4, 15; 30 et 45 mm.

Les réactances de dispersion entre le premier enroulement et chacun des autres furent mesurées en court-circuit; elles ont été trouvées égales à 0,135, 0,239, 0,408, 0,583 ohm, ne différant que très peu des valeurs calculées par la formule classique. Les résistances des enroulements étaient beaucoup plus faibles, de l'ordre de 0,03 à 0,06 ohm.

Les nombres de spires furent soigneusement contrôlés par opposition des diverses bobines sur le circuit magnétique excité par un enroulement auxiliaire, loin de la saturation.

Les courants à vide et les inductions en fonction de la tension appliquée à l'enroulement intérieur sont :

U (V)	B (G)	I (A)
110	10400	1,40
120	11400	1,75
132	12500	2,475
140	13300	3,275
150	14200	4,87
160	15200	.32

et des courants un peu plus faibles en appliquant la tension aux enroulements extérieurs.

La tension ΔU a été déterminée en mettant successivement l'enroulement intérieur et chacun des enroulements extérieurs en opposition sur un voltmètre sensible, en observant toutes les règles et notamment en évitant la formation de spires parasites, la source de courant étant alternativement reliée directement à chacun des enroulements.

Voici les valeurs de $\lambda' : l$ avec alimentation par l'extérieur ; ce sont des valeurs apparentes avec supposition de courants sinusoïdaux, donnant une valeur de λ' d'autant plus exagérée par rapport à λ réel que la saturation croît.

U	a=0,4	a=1,5	a=3	a=4,5	Moyenne
110	0,93	1,13	1,07	0,93	1,01
120	1,05	1,28	1,18	1,00	1,13
132	1,29	1,52	1,37	1,18	1,31
140	1,47	1,67	1 50	1,31	1,49
150	1,66	1,77	1,66	1,39	1,62
160	1,82	2,00	1,70	1,45	1,74

Voici maintenant les valeurs de $\lambda' : l$ obtenues en alimentant par l'intérieur.

U	a=0.4	a=1.5	a=3	a=4.5	Moyenne
110	0,37	0,47	0,41	0,33	0,40
120	0,34	0,44	0,38	0,30	0,38
132	0,30	0,39	0,35	0,27	0,33
140	0,26	0,35	0,30	0,24	0,29
150	0,21	0,29	0,24	0,20	0,24
160	0,20	0,24	0,21	0,17	0,21

Ces essais montrent que l'hypothèse de la décomposition de l'inductance de fuites l en celles de deux bobines fictives à peu près égales en série, l'une sur le primaire et l'autre sur le secondaire, ne peut représenter ce qui se passe réellement.

Il serait désirable de recommencer des essais sur des appareils différents, d'examiner le cas d'enroulements alternés, de transformateurs cuirassés, etc.

5. — Si l'on met en parallèle deux transformateurs de même triangle de court-circuit et de même rapport de nombres de spires, mais de courant à vide différents, de telle sorte qu'il en résulte une petite différence εU de leurs tensions secondaires à vide, les courants des appareils débitant sur une résistance seront I et I' et c'est la différence des courants I et I' qui devra compenser ε par différence des chutes de tension, soit approximativement :

$$\frac{r\mathrm{I}}{\mathrm{U}} + \frac{1}{2}\left(\frac{l\omega \mathrm{I}}{\mathrm{U}}\right)^2 = \frac{r\mathrm{I}'}{\mathrm{U}} + \frac{1}{2}\left(\frac{l\omega \mathrm{I}'}{\mathrm{U}}\right)^2 + \varepsilon.$$

Si I_n est le courant normal de chacun des transformateurs, on a

$$\frac{I - I'}{I_n}\left[\left(\frac{rI_n}{U}\right) + \frac{1}{2}\left(\frac{I + I'}{I_n}\right)\left(\frac{l\omega I_n}{U}\right)^2\right] = \varepsilon.$$

Soit

$$\frac{l\omega I_n}{U} = 0{,}12\,; \qquad \frac{rI_n}{U} = 0{,}008\,; \qquad \lambda = \frac{l}{1{,}2}$$

et, pour le premier transformateur

$$\frac{I_0}{I_n} = 0{,}03, \quad \text{pour le second} \quad \frac{I_0}{I_n} = 0{,}09.$$

Nous en tirons $\varepsilon = 0{,}006$, valeur rarement atteinte, mais qui peu l'être.

De là, à vide

$$\frac{I + I'}{I_n} = 0, \qquad \frac{I - I'}{I_n} = 0{,}75, \qquad I = -I' = 0{,}375\ I_n\,;$$

à demi-charge

$$\frac{I + I'}{I_n} = 1, \qquad \frac{I - I'}{I_n} = 0{,}392, \qquad \begin{cases} I = 0{,}696\ I_n \\ I' = 0{,}304\ I_n\,; \end{cases}$$

à pleine charge

$$\frac{I + I'}{I_n} = 2, \qquad \frac{I - I'}{I_n} = 0{,}268, \qquad \begin{cases} I = 1{,}134\ I_n \\ I' = 0{,}866\ I_n. \end{cases}$$

La répartition du courant total entre les deux appareils laisserait donc assez à désirer.

Ceci se rapporte à l'enroulement extérieur étant primaire. Si ce sont des transformateurs au départ d'une ligne et qu'on place les mêmes à l'arrivée la puissance sera alors intérieure, et ε plus faible, supposons $= 0{,}002$. On aura :

à vide $\dfrac{I + I'}{I_n} = 0, \qquad \dfrac{I - I'}{I_n} = 0{,}25, \qquad I = -I' = 0{,}125\ I_n.$

à demi-charge

$$\frac{I + I'}{I_n} = 1, \qquad \frac{I - I'}{I_n} = 0{,}13, \qquad \begin{cases} I = 0{,}565\ I_n \\ I' = 0{,}435\ I_n\,; \end{cases}$$

à pleine charge

$$\frac{I + I'}{I_n} = 2, \qquad \frac{I - I'}{I_n} = 0{,}09, \qquad \begin{cases} I = 1{,}045\ I_n \\ I' = 0{,}955\ I_n. \end{cases}$$

Le fonctionnement en parallèle est plus satisfaisant maintenant.

M. E. ROTH. — Vous reconnaissez tous avec moi que la communication est très intéressante, et qu'à l'avenir, nous devrons en tenir compte dans nos discussions sur les règlements.

M. BUNET a trouvé que les courants à vide des transformateurs étaient trop élevés. A ma connaissance, la France est le seul pays dont les règlements contiennent une prescription au sujet du courant à vide de ces appareils. A la réunion de Stockholm de la Commission Electrotechnique Internationale, il y a eu une discussion sur la tolérance sur le courant à vide. Les Comités britannique et suisse ont objecté que la valeur du courant à vide n'était pas une garantie à donner, et que par conséquent il n'y avait pas lieu de fixer une tolérance. Nous sommes donc très sévères en France. La tolérance sur laquelle nous étions d'accord et que nous avions proposée à la C. E. I. était de 20 pour 100. Nous sommes arrivés à faire admettre 30 pour 100 dans les règles internationales, contre l'opinion de certains Comités nationaux qui désiraient obtenir des valeurs plus élevées, ou qui n'admettaient même pas de garantie du tout sur le courant à vide.

Je veux aussi vous dire un mot au sujet des pertes supplémentaires. Le mieux, je crois, est d'admettre qu'elles sont constantes et indépendantes de la température.

Pour terminer, je vais montrer les tracés de lignes de force que j'ai publiés dans R. G. E. et que je vais faire circuler.

J'ai examiné le cas d'un transformateur avec trois enroulements à haute tension, et j'ai d'abord tracé le fantôme des lignes de force pour le cas normal, avec un seul enroulement basse tension, où la haute et la basse tension sont équilibrées. Vous voyez que le parallélisme des lignes de force est presque rigoureux sur la plus grande longueur de l'enroulement.

Ensuite, j'ai examiné la même disposition en admettant qu'on faisait sur la haute tension des prises qui n'étaient pas équilibrées sur la basse tension. Vous voyez tout de suite la raison des pertes supplémentaires. Le fantôme des lignes de force est déformé; les lignes de force ne sont plus parallèles, mais traversent obliquement les enroulements.

Dans le troisième cas, j'ai admis des prises au centre d'un des enroulements basse tension, mais sans les équilibrer sur les autres enroulements. En pratique, on ne procéderait pas ainsi; c'est un cas théorique, admis pour examiner la déformation des lignes de force.

M. LE MONNIER donne lecture de la note suivante :

Les remarques fort intéressantes que M. BUNET nous a présentées attirent notre attention sur les précautions que l'on doit prendre — au

moins dans certains cas — pour appliquer les règles en vigueur qui ont un caractère général.

M. Bunet nous a montré en particulier l'influence du courant magnétisant dans les transformateurs, que l'on a trop souvent tendance à négliger. Or, avec les progrès réalisés par les métallurgistes dans la fabrication des tôles à faible perte, progrès qui n'ont pas été accompagnés d'amélioration semblable sur la perméabilité de ces tôles, on a été tenté parfois de donner au courant magnétisant une importance très appréciable pour utiliser au maximum ces tôles, on ne peut plus alors confondre, comme nous l'a fait remarquer M. Bunet : rapport de transformation à vide et rapport des nombres de spires, ni interpréter aussi facilement qu'on le fait d'ordinaire l'essai en court-circuit.

Il est un autre cas où l'interprétation de l'essai en court-circuit est assez délicat et puisqu'il est aujourd'hui question de transformateurs, je me permettrai de le signaler.

On demande de plus en plus fréquemment des transformateurs à 3 enroulements : un enroulement primaire et 2 enroulements secondaires. On est alors amené à imposer et à garantir des chutes de tension comme pour les appareils ordinaires, sans préciser le plus souvent de façon claire, comment se fera la détermination Or, le contrôle de cette caractéristique ainsi que la détermination des pertes supplémentaires est, dans ce cas, extrêmement difficile.

Si, comme nous l'a montré M. Bunet, le courant I'_1 n'est pas le même dans l'essai en court-circuit que le courant I' dans le fonctionnement normal pour un même courant I_2, les 3 courants qui entrent en jeu dans le transformateur à 3 enroulements, ont des valeurs différentes dans l'essai en court-circuit et dans le fonctionnement en charge, de sorte que l'interprétation de l'essai en court circuit pour en déduire, soit la chute de tension, soit les pertes en charge est extrêmement confuse.

Certains de nos collègues ont déjà étudié le fonctionnement du transformateur à 3 enroulements, mais je ne crois pas que ce point spécial du contrôle des caractéristiques ait été parfaitement élucidé, la question mériterait peut-être d'être examinée.

M. de Pistoye. — Je dois signaler une erreur dans l'impression de mon rapport au sujet de l'épaisseur de spires du transformateur; au lieu de 1,3 cm., il faut lire : 1,3 mm.

M Bunet. — La question du transformateur à trois enroulements

est intéressante et ferait sans doute un bon sujet pour nos discussions futures. Je pense que l'on pourrait arriver à préciser des bonnes méthodes de détermination des appareils et de mesure de leurs propriétés.

M. Darrieus. — L'expression rappelée par M. Bunet de la self inductance de fuites à vide avec le facteur 1/2 au lieu de 1/3 pour l'épaisseur de l'enroulement qui n'est le siège d'aucun courant, est rationnelle, en ce qu'elle résulte du fait que le champ magnétique est alors uniforme à travers cet enroulement, au lieu de tomber à 0 linéairement vers la périphérie, comme dans le cas normal.

Ceci suppose toujours que le champ de fuites demeure parallèle à l'axe, ce qui est moins bien vérifié qu'en charge, car la réluctance du circuit magnétique, comprenant celles des culasses, n'est pas répartie suivant sa longueur au prorata de la force magnétomotrice.

Néanmoins, à défaut d'une évaluation plus serrée que pourraient fournir la méthode graphique de Lehman ou celle de Roth, l'expression ci-dessus paraît rendre compte assez bien des résultats d'expérience cités par M. Bunet.

M. Roth. — J'y ai réfléchi, mais c'est très difficile.

M. Mauduit. — Je crois qu'il y a un autre point qui n'a pas été envisagé aujourd'hui, mais qui est intéressant, c'est la définition des coefficients de fuite.

Cela vient encore compliquer les choses, et même dans les circuits magnétiques les plus simples, il y a encore des confusions. Je pense qu'il serait intéressant de revenir sur ce point; je ne sais pas si cela a été définitivement fait.

A un moment donné M. Darrieus avait fait des observations à ce sujet, mais ce n'est pas nettement défini par la plupart des auteurs. A-t-il été fait quelque chose depuis?

M. Darrieus. — Les choses paraissent être restées au point où notre discussion les avait laissées.

Si nous avons paru en divergence entre les constructeurs c'était dû en partie au fait que les constructeurs ont besoin de considérer certains coefficients d'induction plus ou moins bien définis qui échappent à l'analyse de Boucherot.

Mais si l'on s'en tient au point de vue physique et purement expérimental, sans recours à aucun artifice, tel que circuit auxiliaire, le seul coefficient qui intervienne naturellement c'est celui de Boucherot.

Pour moi c'est une question didactique plutôt que technique, et la question serait sans doute plus claire si l'enseignement de M. Boucherot avait été plus diffusé en France.

M. Mauduit. — Les fuites Boucherot ne sont pas suffisantes pour étudier ce qui se passe à vide.

M. Darrieus. — Dans le cas où s'est placé M. Bunet, la définition des fuites est assez nette.

M. Mauduit. — Ce qui me fait poser cette question, c'est que j'ai lu un article de Weber dans l'E.T.Z. et j'ai été tout étonné d'y trouver des discordances entre les définitions des fuites par équation et par spectre magnétique. Ces divergences provenaient de ce que cet auteur avait mal traduit les équations, mais comme cela sort un peu de la question, je n'insiste pas.

Je voulais seulement signaler qu'il serait peut-être bon de savoir si on est d'accord sur ces définitions et s'il a été fait quelque chose récemment.

M. Darrieus. — Pas que je sache.

M. Fallou. — La question de la séparation des fuites a été longuement discutée il y a quelques années au cours des réunions de la 1er Section. L'A.I.E.E. de son côté a eu l'occasion de s'occuper du problème, et un auteur américain O. G. G. Dahl (1) a proposé en 1915 une méthode qui devait permettre de déterminer séparément les réactances de fuites primaires et secondaires d'un transformateur; cette méthode consistait à mesurer la force électromotrice harmonique 3 et le courant de circulation correspondant dans un enroulement secondaire ou tertiaire connecté en triangle. Dans la discussion de ce rapport, M. Boyajian a clairement démontré que la notion de réactance de fuites séparées d'un enroulement est purement artificielle, et que les fuites mesurées par la méthode de Dahl ne correspondent pas à un élément intéressant de fonctionnement du transformateur.

En fait, il n'existe à ma connaissance aucun procédé qui permette de mesurer la réactance de fuites séparées, et tous les phénomènes naturels, permanents ou transitoires, ne mettent en jeu que les réactances de fuites totales.

---

(1) *Journal Of. The.* A.I.E.E., 1927, p. 735 et 1140.

M. Darrieus. — Tout ceci a été traité dans nos discussions antérieures. La définition des fuites partielles est artificielle, et je crois que M. Bunet se rallie à notre opinion.

M. Mauduit. — Cependant il y a des coefficients qu'on peut préciser en partant du coefficient d'induction mutuelle, même dans des circuits complexes.

M. Darrieus. — Ce n'est guère que dans les machines tournantes que l'entrefer autorise à une séparation moins artificielle, et même nécessaire pour les besoins pratiques du constructeur. J'ai seulement protesté contre l'emploi qu'on en fait dans les diagrammes, et que les constructeurs infligent de ce fait aux ingénieurs-conseils ou aux exploitants.

Comme l'a montré M. Boucherot, l'étude du fonctionnement en régime transitoire ne fait pas apparaître les coefficients de fuite partiels, et je crois que c'est aussi l'opinion de M. Fallou.

M. Bunet. — M. Genkin m'a fait observer que la tension secondaire à vide d'un transformateur dont le primaire est parcouru par le courant i correspondant à la tension et à la fréquence normale est Mi.

M étant le même en passant du premier circuit au second, de même nombre de spires, qu'en passant du second au premier, la tension devrait être la même si l'on prend le primaire pour secondaire et inversement.

Il n'en est pas ainsi le cas dans de deux enroulements concentriques. Cela tient à ce que les courants à vide, à tension et fréquence égales ne sont pas les mêmes.

Lorsqu'on alimente par le circuit intérieur, la réluctance se compose de celle du fer en parallèle et de celle de l'air à l'intérieur de ce circuit. Lorsqu'on alimente par le circuit extérieur, cette seconde réluctance d'air diminue ; pour maintenir un flux constant, il faut un courant plus petit.

La différence est très faible tant que le fer n'est pas saturé ; quand il le devient, comme aux inductions de 14 000, 15 000 unités C. G. S. et au delà, une différence de quelques millièmes, un centième quelquefois peut se manifester.

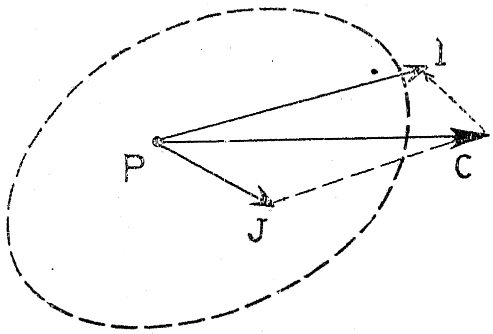
L'expérience le montre facilement.

M. Bunet. — M. Rougé a pensé que l'on peut directement déterminer les pertes supplémentaires à une température qu'on ne peut

atteindre lors de l'essai, en faisant cet essai à la température à laquelle se trouve l'appareil, mais en modifiant la fréquence de l'essai de court-circuit.

M. Rougé ayant dû s'absenter avant de pouvoir prendre la parole m'a écrit, et, d'accord avec lui, je résume et complète son intéressante observation.

On ne peut faire la mesure qu'à une température initiale prise pour zéro ; on veut la perte supplémentaire à une température de t degrés plus élevée.



Soit une région du conducteur. Au point P, s'il n'y avait pas de champ créé par les courants dans le conducteur, on aurait un courant I (distribution en continu ou à fréquence faible). Tous les courants, de forme I ou autres, induisent des forces électromotrices et il en résulte un courant additionnel en P, soit J et finalement le courant devient C. C'est l'ensemble des courants C qui crée le champ, qui lui-même crée les courants J. Ceci est à t^0.

Portons à la température initiale et abaissons la fréquence à $f:(1+\alpha t)$ α étant le coefficient de température de la matière considérée.

Par hypothèse nous ne changeons pas I en valeur efficace. Supposons que le champ définitif ne change pas en valeur efficace. Alors J se trouve divisé par $(1+\alpha t)$ à cause des forces électromotrices dues au champ définitif et multiplié par $(1+\alpha t)$ à cause de la diminution de résistance. Donc J ne change pas, donc pas C (toujours en valeurs efficaces) et on vérifie bien que le champ définitif est le même que dans l'hypothèse initiale, à température t et fréquence f. Tous les courants C étant les mêmes dans les deux cas, et la résistance étant divisée par $1+\alpha t$ dans le second, nous avons :

$$\text{Perte totale à } t^0 \text{ et fréquence } f = \left(\text{Perte totale à } 0^0 \text{ et fréquence } \frac{f}{1+\alpha t}\right)(1+\alpha t)$$

ou bien

Perte en continu à $t°$ + Perte supplémentaire à $t°$ et fréquence f

$$= \left(\text{Perte en continu à } 0° + \text{Perte supplémentaire à } 0° \text{ et fréquence } \frac{f}{1+\alpha t}\right)(1+\alpha t)$$

$$= \text{Perte en continu à } t° + \left(\text{Perte supplémentaire à } 0° \text{ et fréquence } \frac{f}{1+\alpha t}\right)(1+\alpha t)$$

et enfin

$$\frac{\text{Perte supplémentaire à } t° \text{ et fréquence } f}{\text{Perte supplémentaire à } 0° \text{ et fréquence } \frac{f}{1+\alpha t}} = 1 + \alpha t = \frac{\text{Perte en continu à } t°}{\text{Perte en continu à } 0°}.$$

Nous pouvons aussi le voir en appliquant simplement les formules que nous avons données :

Appelons R_{tf} la résistance totale à $t°$ et fréquence f,

R_{tc} la résistance à $t°$ en continu,

R_{tfs} la résistance supplémentaire à $t°$ et fréquence f,

$$R_{tf} = R_{tc} + R_{tfs}.$$

De même à la température initiale et à la fréquence f

$$R_{of} = R_{oc} + R_{ofs}$$

et à une autre fréquence f'

$$R_{of'} = R_{oc} + R_{of's}.$$

Notre formule des pertes totales est $R_{tf} = R_{tc}F(\beta)$, β contient comme seule variable ε, épaisseur de la couche Kelvin proportionnelle à $\sqrt{\frac{\rho}{f}}$

Si nous posons $f' = f : (1 + \alpha t)$, nous avons

$$\sqrt{\frac{\rho_0}{f'}} = \sqrt{\frac{\rho_0(1+\alpha t)}{f}} = \sqrt{\frac{\rho_t}{f}}.$$

Donc ε est le même pour la température 0 et la fréquence f', que pour la température t et la fréquence f. $F(\beta)$ ne change pas, et

$$\frac{R_{tf}}{R_{of}} = \frac{R_{tc}}{R_{oc}} = 1 + \alpha t = \frac{R_{tf} - R_{tc}}{R_{of} - R_{oc}} = \frac{R_{tfs}}{R_{of's}}.$$

Grâce à cette remarque, au lieu de déterminer les pertes à 75° C et à 50 p : s il suffit d'opérer à 25°C et à $\frac{50}{(1 + 0{,}04 \times 50)} = 41{,}6$ p : s, puis multiplier le résultat par 1,20.

Comme très souvent on procède à la détermination du triangle de court-circuit en employant un alternateur spécial et non pas le réseau, on pourra facilement en faire varier la vitesse, et connaître ainsi, en opérant à une seule température, les pertes supplémentaires dans les conducteurs à toutes températures.

Le procédé peut d'ailleurs être étendu à d'autre machines que les transformateurs.

Lors des essais de réception de transformateurs, on pourra si on le désire, employer ce procédé quand il sera utile de connaître les pertes à des températures autres que celle de l'essai.

Dans certains cas, on estimera suffisant d'admettre que les pertes supplémentaires sont indépendantes de la température, quitte à regarder de plus près quelquefois.

Prenons quelques exemples :

Un transformateur de fréquence 50 p : s, enroulé de conducteurs de peu de millimètres dans le sens dangereux, avec enroulements concentriques de même hauteur (ou l'équivalent dans le cas d'enroulements alternés), donne souvent à froid $R = R_c(1 + 0,1)$.

Passons de 25° C à 75° C et formons

$$\frac{234,5 + 75}{234,5 + 25} = 1,192.$$

Si les pertes supplémentaires sont supposées fixes, le coefficient à appliquer à la résistance effective à 25° C pour avoir celle à 75° C est

$$1,192 + 0,1 = 1,292.$$

Si les pertes supplémentaires sont supposées décroître selon la loi $\frac{1}{1 + \alpha t}$, on obtient

$$1,192 + \frac{0,1}{1,192} = 1,275$$

soit une différence de 1,3 pour cent seulement.

Cette différence croîtrait avec des pertes supplémentaires plus fortes, mais alors la loi $\frac{1}{1 + \alpha t}$ s'applique d'autant moins que ces pertes sont précisément plus grandes comme nous l'avons montré.

Un appareil qui donnerait à froid $R = R_c\left(1 + \frac{1}{3}\right)$ aurait un de ses enroulements en conducteurs très épais, ou présenterait quelque dissymétrie entre ses deux circuits.

Les pertes totales à chaud seraient ainsi

$$> 1,192 + \frac{1}{3}\,\frac{1}{1,192} \quad \text{ou} \quad > 1,461.$$

En supposant des pertes supplémentaires indépendantes de la température, on obtiendrait

$$1,192 + \frac{1}{3} = 1,525.$$

L'erreur serait ainsi plus petite que 4 pour cent, et probablement de 2 ou 3 pour cent au plus.

Dans un cas plutôt extrême de $R = R_c(1 + 1)$ à froid, les pertes totales à chaud seraient sensiblement plus grandes que

$$1,192 + \frac{1}{1,192} = 2,03$$

elles seraient probablement vers 2,10 et quelquefois 2,15 ou même plus peut-être.

La supposition de pertes supplémentaires indépendantes de la température donnerait pour les pertes totales à chaud

$$1,192 + 1 = 2,192.$$

M. Le Monnier rappelle sa communication sur les *Pertes supplémentaires dans les moteurs asynchrones de petite puissance* (1) et ajoute :

Le rapport que j'avais à présenter aujourd'hui, ayant paru dans le dernier bulletin, je me contenterai d'en donner un résumé rapide, que je compléterai cependant sur quelques points.

Si la question des pertes supplémentaires, sur laquelle nous avons déjà, à plusieurs reprises, échangé nos vues, m'a paru présenter un intérêt particulier dans le cas des moteurs asynchrones de petite puissance, c'est d'abord parce que ces moteurs sont les plus répandus et qu'une erreur commise à leur sujet se trouve multipliée à l'infini. C'est aussi parce que ces machines devant être exécutées normalement avec secondaire en court-circuit, les méthodes d'investigation ordinaires vérifiées sur des machines plus puissantes à secondaire bobiné, ne leur sont plus applicables ; c'est enfin parce qu'en raison des faibles puissances mises en jeu, les essais ne présentent pas de difficulté de réalisation.

Si la question des pertes supplémentaires dans ce genre de machines a été laissée systématiquement de côté par les réglementations en vigueur, des observations journalières mettent cependant en évidence l'existence de ces pertes.

Parmi ces nombreuses constatations, il en est beaucoup dont l'explication réside dans des détails de conception ou d'exécution qui ne touchent que le constructeur ; je ne m'y suis pas arrêté, quoi qu'elles contribuent à lui apporter une confirmation précieuse des conclusions

(1) *Bulletin de la Société Française des Electriciens*, 4e Série, A.X. n° 111, novembre 30, p. 1163.

auxquelles conduisent également les autres observations dont j'ai fait mention et qui intéressent tout à la fois, constructeur et usager.

J'ai montré tout d'abord comment la comparaison des couples réels sur l'arbre d'un moteur asynchrone au repos et de la puissance absorbée par ce moteur, font apparaître dans ces conditions particulières de fonctionnement la présence de pertes supplémentaires appréciables.

Dans une deuxième partie, c'est par la comparaison des échauffements de deux moteurs présentant des caractéristiques identiques, sauf sur un point — nombre des encoches au stator — que j'ai fait ressortir l'importance des pertes supplémentaires dans le fonctionnement normal.

J'ajouterai que dans ce cas l'essai du stator seul, rotor enlevé — qui n'a aucune valeur absolue, puisque le circuit magnétique y est constitué de façon tout à fait différente que dans le moteur complet — fournit un contrôle des valeurs relatives des pertes supplémentaires fort intéressant. Les pertes supplémentaires dans cet essai sont de $0{,}058 \times I^2$ dans le moteur à 48 encoches et de $0{,}077\ I^2$ dans le moteur à 24 encoches, soit de 33 pour 100 plus élevées dans le moteur dont l'échauffement est le plus élevé. Cette augmentation des pertes supplémentaires dans cet essai est d'ailleurs accompagnée d'une augmentation de la tension d'alimentation pour une même valeur du courant.

Tout cet ensemble de faits d'expérience ne permet pas de négliger, comme on le fait actuellement, les pertes supplémentaires. De cette omission systématique il ne peut que résulter des confusions et des malentendus tout à fait regrettables.

Si pénible que soit un changement d'habitude — pour ne pas dire de routine — il semble dangereux pour les progrès mêmes de la construction, de s'obstiner à maintenir à la notion de rendement apparent le privilège dont elle jouit aujourd'hui. La considération de cette caractéristique ferait en effet dans certains cas choisir entre deux machines de même puissance la plus médiocre des deux et comme cette machine médiocre serait plus lourde et plus coûteuse, l'usager non prévenu n'en serait que plus tenté, se fiant aux apparences, de croire que plus il a de marchandise, mieux il est servi.

Il ne faudrait pas laisser subsister pareils préjugés, ni laisser croire que la puissance d'un moteur doit s'exprimer non pas en watts réels sur l'arbre, mais en mètres cubes.

D'autre part, il serait également nécessaire de préciser ce que l'on entend par couple au démarrage. Lors des réunions de la Commission Electro-Technique Internationale, on a à diverses reprises discuté la

question des tolérances sur les mesures de couple et l'on a même eu quelque peine à se mettre d'accord sur la valeur de cette tolérance, mais on a omis de définir la méthode de mesure. Ce sont là des errements tout à fait regrettables qui ne peuvent que jeter le discrédit sur des règles dont toute la force doit résider dans une autorité indiscutable.

Comme conséquence pratique de ces remarques, il me semble que nous pourrions exprimer le vœu que ces deux questions soient examinées à nouveau par le Comité Electro-Technique français.

Encore ne faut-il édicter que des règles applicables ? C'est pourquoi j'ai cru devoir suggérer un procédé de contrôle des machines de construction courante à l'aide d'essais calorimétriques sur un moteur étalon, qui pourraient être effectués par un Laboratoire qualifié, mais je suis prêt à reconnaître que ce procédé peut être d'une application assez délicate et je me rangerai volontiers à toute autre solution plus simple qu'auraient pu provoquer les remarques précédentes.

A côté de ces conséquences d'ordre pratique et immédiat, les essais que j'ai décrits me semblent fournir des indications précieuses sur l'origine de ces pertes supplémentaires, dont le siège semble bien être le fer du circuit magnétique de la machine ou tout au moins des bords de ce circuit placés en regard le long de l'entrefer ainsi que leur liaison avec la tension de réactance du moteur.

Sur ce dernier point, l'expérience est en contradiction avec certains calculs classiques qui ont été évoqués ici même, ce qui nous oblige à revoir les bases de nos calculs.

Ces dernières considérations présentent un intérêt capital pour le constructeur, car pour combattre les imperfections de ses machines, le mieux n'est-il pas encore qu'il en connaisse la cause ?.

M. E. Roth. — Le travail de M. Le Monnier, j'en suis convaincu d'avance, amènera à une discussion très animée, car il touche à un point important et affecte le type le plus répandu de machines électriques.

Je regrette que ce rapport n'ait pas paru plus tôt. Il aurait en effet été intéressant pour les autres constructeurs d'avoir le temps de faire des essais semblables pour contrôler les chiffres de M. Le Monnier ; de ce fait il a fallu avoir recours à d'anciens essais et puiser dans la littérature technique qui s'est déjà abondamment occupée de cette question.

M. Le Monnier nous dit que le rendement mesuré par pertes séparées, qu'il appelle le rendement apparent, n'est pas le vrai rendement, et

que ce dernier peut être de plusieurs points intérieur au premier. Vous savez qu'il n'y a là-dedans rien de nouveau et tout le monde connaît ce fait qui avait été amplement discuté il y a deux ans; je croyais même que les explications données à ce moment avaient été jugées suffisantes, mais il paraît qu'il n'en est rien, et nous devons donc savoir gré à M. Le Monnier de nous avoir donné l'occasion de vider aujourd'hui ce sujet à fond. Je crains toutefois que le résultat auquel nous arrivons ne soit négatif; espérons que je me trompe.

Toutes les machines électriques, qu'elles soient fixes ou tournantes, synchrones ou asynchrones, ont des pertes supplémentaires, mais dont quelques-unes peuvent être déterminées très facilement et avec une grande approximation, tandis que la mesure de certaines autres est au contraire très délicate. C'est là que réside la difficulté, et ce n'est malheureusement pas le travail de M. Le Monnier qui va la lever, malgré les suggestions constructives de son dernier chapitre. Il n'existe *pas* de méthode *industrielle* pour mesurer les pertes supplémentaires des moteurs asynchrones, cette mesure demande au contraire des installations délicates ou compliquées sur lesquelles j'aurai l'occasion de revenir. Pour cette raison seulement des règlements sont ce qu'ils sont et n'ont pas été modifiés. Je souhaite que notre discussion amène à une solution de ce problème, mais j'en doute, car si une méthode simple et pratique était possible il y a longtemps qu'elle aurait été trouvée et appliquée.

Nous avions examiné longuement la question des pertes supplémentaires au Comité technique de la Chambre syndicale des Constructeurs de Gros Matériel électrique, du reste avec la collaboration de M. Le Monnier. Les résultats de notre travail ont été consignés aux pages 4 et suivantes du fascicule 205 de la Chambre syndicale, dont je vous ai entretenu il y a deux ans. En ce qui concerne les moteurs asynchrones, nous n'avons pu proposer qu'une méthode approximative dont je vous parlerai tout à l'heure.

Après ces remarques préliminaires, abordons le fond de notre sujet et examinons d'abord la nature de ces pertes supplémentaires. Celles-ci n'ont rien de mystérieux ; elles ont déjà été analysées dans plusieurs travaux remarquables sur lesquels je reviendrai. Elles ont leur siège dans le fer comme M. Le Monnier l'a fait remarquer, et pour être plus précis, dans les dents. Elles sont dues aux forces magnéto-motrices différentielles entre la force magnéto-motrice du stator et celles du rotor, qui produisent des flux locaux embrassant une ou plusieurs dents; elles

sont donc fonction de la charge et sont nulles à vide. L'essai à vide ne peut donc pas les révéler.

Dans les moteurs à cage d'écureuil, le phénomène est un peu différent ; du fait du court-circuit formé par les barres de la cage, les champs locaux ne peuvent pas se produire et les pertes sont dues à des courants d'amortissement dans les barres.

Nous en venons ensuite aux recherches expérimentales concernant les pertes supplémentaires en charge des moteurs asynchrones, et, commencerons par celles que M. Le Monnier vous a présentées, pour examiner ensuite celles que d'autres auteurs ont faites sur le même sujet.

M. Le Monnier vous a d'abord exposé les essais qu'il a faits sur un moteur de 5 ch dans lequel, pour éviter les pertes par effet de peau, il a fait bobiner le rotor avec du fil très fin, précaution que j'apprécie beaucoup. Mais cette expérience de M. Le Monnier, je le dis à grand regret, ne peut rien prouver, car elle prête à une critique très sérieuses que je vais vous exposer.

On sait que le couple de démarrage d'un moteur asynchrone est fonction de la position du rotor. Ceci est vrai même pour les moteurs à cage d'écureuil, malgré que le constructeur s'efforce de concevoir son moteur pour que le couple soit sensiblement constant, quelle que soit la position du rotor ; il doit s'arranger dans tous les cas pour que le couple minimum soit au moins égal au couple demandé. Cette préoccupation n'existe pas lorsqu'il s'agit de rotors bobinés ; ceux-ci ont même toujours des variations de couple extrêmement importantes en court-circuit. Le rotor bobiné démarre en effet toujours avec un rhéostat et on trouve toujours une position du rhéostat où le moteur démarre. Je vais vous donner des exemples relevés dans les ateliers de nos usines de Belfort et je prendrai d'abord le cas extrême d'un moteur fermé. A rotor bobiné, celui-ci a été construit, pour diminuer les pertes, avec beaucoup de cuivre dans le rotor. L'influence du champ fondamental à l'arrêt en court-circuit a donc été dans ce cas faible par rapport à l'action des harmoniques du champ. Il s'agissait d'un moteur de 9 ch sous 190 volts qui, en court-circuit, a développé dans une position 4, 6 et dans une autre 13,7 kgm, tout en absorbant dans les deux cas et j'insiste là-dessus, car c'est le fond de l'argumentation de M. Le Monnier, sensiblement la même puissance sur le réseau, soit 10400 watts dans le premier, et 11000 watts dans le deuxième cas.

Dans un autre exemple, où il y avait même déjà une certaine résistance intercalée dans le rotor, on a mesuré le couple pour 7 positions différentes. On a relevé un minimum de 1,25 kgm et un maximum de

1,75 kgm, et la puissance absorbée a seulement varié entre 1620 et 1680 watts. Ces différences sont de l'ordre de grandeurs des différences trouvées par M. Le Monnier.

Comme je l'ai fait remarquer, des différences entre les couples de démarrage, en fonction de la position du rotor, existent même, il est vrai dans une mesure plus faible, dans les moteurs à cage d'écureuil. La même critique est encore valable ici.

Je citerai comme exemple le cas de deux rotors de moteur à cage d'écureuil (simple cage), qui avaient été construits à Belfort pour le même moteur, pour l'établissement d'une nouvelle série. Les deux rotors avaient respectivement 43 et 33 encoches. Pour le premier, le couple a varié pour 150 V entre 0,200 et 0,292 kgm et à 250 V entre 0,82 et 1 kgm ; pour le deuxième, respectivement pour les mêmes tensions entre 0,246 et 0,337 kgm et entre 1,180 et 1,365 kgm, la puissance absorbée restant pratiquement indépendante de la position. Les variations sont encore du même ordre de grandeur.

Pour terminer la question du couple de démarrage et avant d'aborder le cas du moteur de 20 ch dont parle M. Le Monnier, je dois ouvrir une parenthèse et relever une phrase de son travail, p. 1171, que je cite textuellement : « Rien dans les règles actuelles ne met en garde contre cette confusion, (différence entre couple théorique et réel) car si, lors des réunions de la C. E. I. à Londres en 1929, on a songé à fixer les valeurs des tolérances sur les mesures des couples au démarrage, on a omis de définir de façon claire et précise le procédé de détermination de ce couple, de sorte que les tolérances envisagées (10 à 20 pour cent suivant les propositions) se trouvent inférieures aux écart possibles entre les résultats des divers procédés de mesures » ainsi que la phrase finale, p. 1177 : « Enfin, en ce qui concerne la détermination des couples au démarrage, il suffira de préciser nettement que le seul couple dont il s'agit est celui qui est réellement disponible sur l'arbre et que l'on peut mesurer avec un frein de Prony. »

J'avoue que je ne comprends pas pourquoi cette question a été posée. Il n'a pas été nécessaire de fixer à la Commission Internationale, le procédé de mesure du couple de démarrage, car il n'y en a qu'un, et c'est précisément celui dont parle M. Le Monnier dans sa phrase finale. Il ne peut pas être question d'une autre méthode.

Examinons maintenant le cas du moteur de 20 ch. M. Le Monnier a muni son moteur une fois d'un stator à 6, et une fois d'un stator à 12 encoches par pôle, et il a constaté que le moteur atteignait dans

le premier cas des échauffements de 20 0/0 plus élevés que dans le second.

M. Le Monnier a-t-il réellement, de ce fait, mis en évidence l'existence de pertes supplémentaires dans le fer ? La preuve n'en est, en effet, pas faite complètement, car même à pertes réelles égales, le moteur à grand nombre d'encoches chaufferait moins à cause de ses conditions de refroidissement et de transmission de chaleur plus favorables. M. Le Monnier conclut de son essai qu'avec le premier stator, à échauffement identique, le moteur peut fournir une puissance de 16 ch seulement, tandis qu'avec le second stator, il peut développer 20 ch. Ceci est exact quoique, comme je viens de le dire, il est certain que la différence n'est pas entièrement due aux pertes supplémentaires. Mais où je ne suis plus d'accord avec M. Le Monnier, c'est lorsqu'il dit qu'une comparaison superficielle fera préférer le moteur le plus lourd, en considération du rendement apparent. Non, la vérité est que le constructeur d'un moteur de ce genre n'arriverait pas à le vendre.

Et ici je peux vous donner l'assurance que la situation n'est pas si noire que M. Le Monnier a voulu la dépeindre. Un constructeur ne peut pas livrer des moteurs qui ont des pertes supplémentaires exagérées, car si la mesure de ces pertes est délicate, une autre mesure est très facile, et c'est celle de l'échauffement. Des moteurs à grandes pertes supplémentaires sont impossibles à cause de la concurrence.

Nous en venons maintenant à la fin du travail de M. Le Monnier, conséquences pratiques et suggestions. Je suis entièrement d'accord sur les deux derniers points des conclusions de M. Le Monnier. Le premier point des conclusions n'est pas en discussion ici ; en ce qui concerne le deuxième, je vous ai déjà expliqué que les pertes supplémentaires étaient dues à des champs locaux. J'ai encore une remarque à formuler, en plus de celle que j'ai faite plus haut, au sujet du chapitre des conséquences pratiques. M. Le Monnier s'étonne que l'on ait prévu des tolérances à admettre lors du contrôle des garanties données par le constructeur. A mon avis, il est évident qu'il faut des tolérances car, même pour le rendement apparent comme pour le couple au démarrage, la loi du grand nombre joue pour les petits moteurs fabriqués en grande quantité, et, pour les grands moteurs, exécutés plus rarement, les incertitudes de l'exécution entrent en jeu.

Je parlerai de la suggestion pratique de M. Le Monnier après vous avoir mis au courant d'autres travaux qui ont été publiés sur le même sujet, travaux que nous ne devons pas ignorer.

En 1925, MM. Rogowski et Vieweg ont publié un article très docu-

menté dans l'Archiv für Elektrotechnik sur les pertes supplémentaires en charge des petits moteurs asynchrones. Ce travail expose la théorie du phénomène, mais sa valeur réside surtout dans une série d'expériences faites sur 25 moteurs, variant de 1/3 de ch à 20 ch. La mesure du rendement vrai a été faite par la méthode directe, au frein à courants de Foucault. En prenant toutes les précautions, M. Rogowski évalue l'exactitude des mesures à 0,5 pour cent ; il ajoute que la méthode directe peut seulement être faite dans de bonnes conditions dans un laboratoire scientifique, mais qu'elle n'est pas admissible industriellement.

Le minimum d'écart entre rendement vrai et rendement mesuré par pertes séparées a été de 0,7 pour cent pour un moteur de 0,5 ch, rendement vrai de 78,5 pour cent contre 79,2 pour cent apparent; le maximum d'écart était de 4,8 pour cent pour un moteur de 2 ch, 84 pour cent contre 88,8 pour cent. La moyenne des écarts était de 2 pour cent.

Le moteur de 2 ch qui présentait l'écart de 4,8 pour cent entre les deux rendements peut être considéré comme d'exceptionnellement mauvaise conception. Il est d'ailleurs certain que, l'attention étant attirée sur ces pertes, la conception des moteurs a été améliorée sur ce point, comme du reste sur beaucoup d'autres. Si M. Rogowski recommençait maintenant la même série d'essais il trouverait certainement des écarts plus faibles.

Il est intéressant de remarquer qu'en 1925 a eu lieu à Berlin, à la section locale de la Société des ingénieurs électriciens allemands (V. D. E.), une discussion du genre de celle que nous avons aujourd'hui et que le travail de MM. Rogowski et Vieweg avait provoquée ; la lecture de cette discussion est du reste très suggestive. Différents moyens pour mesurer ces pertes supplémentaires ont été proposés, mais jusqu'à présent, et malgré les résultats de ces recherches, le V. D. E. n'a pas modifié son règlement ; le rendement du moteur asynchrone est toujours mesuré par pertes séparées, et, comme en 1925, on alloue 0,5 pour cent aux pertes supplémentaires.

Des nouvelles recherches ont été entreprises par M. Linckh, dont le résultat a été publié il y a un an, également dans l'Archiv für Electrotechnik. Et ceci nous amène à une question que j'ai laissée en suspens jusqu'à présent. Je vous avais dit que la publication 205 de la Chambre Syndicale du Gros Matériel Electrique contenait une proposition d'une méthode approximative pour la mesure des pertes supplémentaires des moteurs asynchrones. Cette méthode est la suivante :

On essaie le moteur en alternateur en court-circuit, en alimentant le otor des moteurs bobinés, ou le stator des moteurs à cage d'écureuil, par

du courant continu, et on mesure la puissance absorbée pour l'entraînement de la machine. La différence entre pertes mesurées et pertes par effet Joule, abstraction faite des pertes dans les paliers, donne les pertes supplémentaires.

J'ai moi-même publié une série d'expériences faites sur des alternateurs qui ont confirmé l'exactitude de ce procédé pour ce genre de machines.

M. Linckh de son côté a expérimenté cette méthode sur une série de moteurs asynchrones bobinés, à cage simple et du type Boucherot, et a comparé ses résultats avec la méthode directe. Ici la concordance est moins satisfaisante que pour les alternateurs, car les pertes supplémentaires réelles sont de 20 à 40 pour cent inférieures aux pertes obtenues par la méthode de l'alternateur en court-circuit. M. Linckh donne toutefois une formule qui permet, en partant de cette méthode, de calculer la valeur vraie des pertes supplémentaires. Je ne sais pas si, à la suite des recherches de M. Linckh, le comité allemand a l'intention de modifier ses règlements. Cela m'étonnerait, car il serait impossible de généraliser cette méthode pour tous les moteurs asynchrones.

Aussi, en ce qui nous concerne, avons-nous proposé de l'utiliser, comme je vous l'ai déjà dit il y a deux ans, pour les moteurs à 2 et à 6 pôles au-dessus de 500 kVA, et pour ceux à nombre de pôles plus élevé au-dessus de 1 000 kVA seulement. Cela ne voulait nullement dire que nous estimions les pertes supplémentaires négligeables dans les moteurs plus petits ; nous avons simplement pensé qu'il n'était pas pratique et industriel de l'appliquer à tous les moteurs et nous nous sommes parfaitement rendu compte de ce qu'il y avait d'arbitraire dans cette façon de faire.

Mais si nous voulions normaliser cette méthode, il faudrait tenir compte des observations de M. Linckh et les faire confirmer par des séries d'essais.

Une autre méthode que j'ai également expérimentée sur les alternateurs est celle de la marche en moteur synchrone à vide surexcité, qui, pour les alternateurs donne de bons résultats, mais qui est très difficilement applicable industriellement, car elle demande la mesure de puissances faibles sous gros courants, à facteur de puissance très faible. M. Linckh l'a également appliquée aux moteurs asynchrones et elle lui a donné des résultats concordants.

Lors de mes recherches sur les pertes supplémentaires dans les alternateurs, j'avais déterminé la valeur vraie des pertes en charge et en marche en moteur synchrone à vide par un essai calorimétrique, en

plaçant l'alternateur dans une boîte, et en mesurant l'échauffement de l'air de ventilation. C'est cette méthode dont M. Le Monnier parle dans ses suggestions, en proposant de disposer, pour les moteurs de construction courante, d'un moteur étalon sur lequel on ferait l'essai calorimétrique, avec lequel on comparerait les machines identiques à l'aide d'essais à vide et en court-circuit. Ceci serait à mon avis d'une complication énorme, car pour chaque modification de l'encochage, il faudrait refaire l'essai calorimétrique. Mais j'ajoute qu'il est évident que j'admets cette méthode comme méthode de recherches dans les usines.

Une dernière méthode enfin avait été proposée lors de la discussion à Berlin : un moteur asynchrone en entraîne un autre, identique, au moyen d'une courroie, les deux moteurs ayant des poulies de diamètres différents. On voit qu'une incertitude est introduite dans cette méthode par le glissement de la courroie et je ne sais pas si elle a été prise en considération en Allemagne.

Voici pourquoi j'ai dit au début de mon exposé que la mesure des pertes supplémentaires des moteurs asynchrones pouvait seulement être effectuée :

1° Par des mesures délicates, qui sont :

a) La mesure directe de la puissance.

b) L'essai en fonctionnement en moteur synchrone à vide surexcité, méthode encore à vérifier.

2° Ou par des méthodes compliquées, qui sont :

c) L'essai en fonctionnement en alternateur en court-circuit, méthode encore à vérifier.

d) L'essai calorimétrique.

Je crois avoir épuisé toutes les méthodes possibles, et vous voyez qu'il n'y en a pas une seule qui soit industrielle et pratique.

Je dois encore ajouter que certains règlements étrangers, les règlements suisse et allemand entre autres, cherchent à tenir compte des pertes supplémentaires en déduisant une valeur fixe, 0,5 pour cent dans le règlement allemand, de la valeur du rendement trouvé par pertes séparées. La proposition de la Commission électrotechnique internationale, soumise à l'enquête auprès des Comités nationaux, a fixé ce chiffre à 0,6 pour cent pour la pleine charge. Cette proposition a quelque chose d'arbitraire, car elle avantage le mauvais moteur, mais pour l'instant, on ne voit pas ce que l'on pourrait mettre à sa place.

Si en abandonnant le statu quo on s'arrêtait à la méthode calorimétrique, même avec la restriction proposée par M. Le Monnier, ou si l'on

adoptait une autre méthode quelle qu'elle fut, il est certain que le prix de revient des moteurs augmenterait. Est-ce réellement le moment, quand notre industrie a déjà assez de mal à lutter contre la concurrence étrangère ?

La question est à l'ordre du jour de la C. E. I. ; laissons-lui le soin de résoudre ce problème difficile avec la collaboration des techniciens du monde entier. Une réglementation de ce genre doit être internationale pour ne pas désavantager l'industrie nationale.

M. Darrieus. — Je voudrais seulement souligner la conclusion de M. Roth, à savoir que nous ne devons pas, dans les réunions internationales, perdre de vue l'obligation d'aboutir, parce que c'est la seule justification du temps considérable que réclament ces pourparlers.

Néanmoins, il y a bien des questions qui ne sont pas mûres dans leur principe et qu'il vaut mieux résolument laisser de côté que de leur donner une solution prématurée.

Peut-être ce sujet est-il dans ce cas.

M. De Pistoye. — Je crois que dans la très intéressante communication de M. Le Monnier, il faut distinguer deux questions différentes, celle des pertes supplémentaires et celle du couple de démarrage.

1° *Pertes supplémentaires* :

Les pertes supplémentaires sont essentiellement celles qui échappent aux mesures courantes.

Il faut donc observer d'abord si les harmoniques du champ auxquels M. Le Monnier les attribue très justement donnent toujours des pertes qui échappent aux mesures courantes.

Or, parmi ces harmoniques figurent ceux qui sont produits par le courant à vide du moteur, en particulier ceux auxquels il faut attribuer les pulsations du flux dans la denture du stator et du rotor. Or le wattmètre qui mesure les pertes à vide mesure les pertes correspondantes, aussi bien que celles dues au flux principal. Il y a donc certaines pertes supplémentaires dues aux harmoniques qui sont enregistrées par les mesures courantes.

Passons aux harmoniques dus au courant de charge. Ce courant produit des harmoniques comme le courant à vide. Or la cage d'écureuil est en court circuit aussi bien pour les harmoniques que pour le flux principal et, comme elle tourne très vite par rapport aux harmoniques et à peu près au synchronisme de l'onde fondamentale, elle étouffera les harmoniques et laissera passer l'onde fondamentale.

Il en résulte que le flux qui traverse l'ensemble des dentures et pénètre dans le noyau du rotor est épuré en quelque sorte de ses harmoniques par la présence de la cage d'écureuil. Il n'en serait pas de même d'un moteur à bagues dont le bobinage du rotor n'est en court circuit que pour l'onde fondamentale; les champs harmoniques pourront se développer librement dans ce moteur, et il aura toutes chances pour avoir plus de pertes supplémentaires que le moteur à cage. Les pertes supplémentaires du moteur à double cage ne seront supérieures à celles du moteur à simple cage que de très peu, uniquement parce que la denture du rotor y est un peu plus haute, mais les flux parasites étant arrêtés par la cage intérieure peu résistante comme dans le moteur à simple cage, les pertes supplémentaires y demeureront très inférieures à celles du moteur à bagues.

Bien entendu, le rotor à cage n'étouffe pas d'une façon absolument complète les harmoniques parce que le nombre des barres n'est pas infini et parce qu'il y a souvent une certaine obliquité des encoches du rotor par rapport à celles du stator, mais, dans l'ensemble, le fonctionnement du rotor à cage sera celui indiqué.

2° *Couple.* — M. LE MONNIER a dit dans sa communication avoir trouvé sur un moteur une différence de 27 pour 100 entre le couple de démarrage mesuré au frein et le couple calculé. Cette différence est due sans aucun doute aux harmoniques du champ. Mais si ce couple parasite est dû, par exemple, à l'harmonique 11 comme cela est souvent le cas dans les moteurs triphasés à 2 encoches par pôle et phase, cette différence importante sur les couples ne correspond pas à une différence proportionnelle sur les puissances absorbées; en effet, comme l'harmonique tourne 11 fois moins vite que le champ principal, la puissance correspondante n'est que $\frac{1}{11}$ de 27 pour 100 et correspond seulement à $\frac{0,27}{11} = 2,45$ pour 100 de la puissance absorbée. La perte Joule correspondante est donc beaucoup plus faible qu'il ne paraît en première analyse, et l'augmentation des pertes est très inférieure à la diminution du couple.

D'ailleurs cette diminution de 27 pour 100 est très rarement atteinte sur des moteurs modernes.

Pour les gros moteurs, ayant beaucoup d'encoches par pôle et phase, on n'a qu'une différence inférieure à 4 ou 5 pour 100, et même, quand les erreurs de mesure sont de sens convenable, on trouve que le couple, mesuré au frein est supérieur au couple calculé de 1 ou 2 pour 100.

Pour de petits moteurs, on trouve des différences de l'ordre de 10 pour 100, mais rarement, sauf sur des moteurs anciens de 27 pour 100. Cependant sur un moteur très ancien remontant à l'avant guerre, et pourvu de mauvais nombres d'encoches, j'ai trouvé que le couple au frein ne correspondait qu'à 38 pour 100 du couple calculé, mais c'est un cas tout à fait extrême.

D'ailleurs ceci n'a d'intérêt que pour le constructeur, car devant le client, pour de petits moteurs, on mesure toujours au frein les couples de démarrage c'est-à-dire que l'on mesure les couples réels.

M. Darrieus. — Je remarque que l'harmonique 11 correspond au champ tournant inverse.

M. de Pistoye. — C'est bien volontairement que j'ai choisi l'harmonique 11, car cet harmonique tournant en sens inverse du champ principal, comme l'indique M. Darrieus, son couple se soustrait de celui fourni par le champ principal, tandis que le champ dû à l'harmonique 13, tournant dans le même sens que le champ principal, le couple correspondant est additif au démarrage.

M. Letrilliart. — Je m'associe pleinement aux remarques formulées par MM. Roth et de Pistoye en ce qui concerne la variation du couple et l'importance des pertes supplémentaires. Je rappelle que l'étude de la première question a déjà été traitée dans l'Encyclopédie Arnold et La Cour et que cette variation du couple nécessite d'ailleurs des précautions spéciales dans le cas des moteurs Boucherot à double cage.

Il ne faudrait pas non plus négliger les pertes normales à l'arrêt dans le fer du rotor, qui contribuent à la production du couple. En toute rigueur, il faudrait en tenir compte.

Il serait dangereux de généraliser les résultats obtenus par M. Le Monnier sur un moteur Boucherot à double cage. Les pertes supplémentaires varient beaucoup avec la réalisation et le moteur en question faisait peut-être partie de la 1re catégorie des moteurs de 20 ch dont il question dans le rapport.

En ce qui concerne le calcul de ces pertes, nous avons extrait des travaux de Dreyfus publiés dans les premiers numéros de 1928 de la revue *Archiv fur Elektrotechnik*, une méthode facilement applicable qui donne de bons résultats et qui permet d'améliorer la construction. Cette méthode est appliquée aux F.A.C.E.J. depuis plusieurs mois. Elle a été utilisée pour le calcul des pertes de petits compensateurs

asynchrones et a permis, par exemple, de déterminer la modification d'entrefer à apporter à un moteur dont l'échauffement était un peu trop élevé, la marge sur le facteur de puissance étant suffisante. L'essai en charge a vérifié complètement les prévisions.

La conclusion relative au matériel poussé ne paraît pas exacte, la machine poussée et légère ayant en général peu d'encoches. La comparaison aurait pu être faite en logeant dans les encoches du 1er moteur la section de cuivre maximum, la puissance, aurait été sans aucun doute, sérieusement augmentée.

Une méthode de récupération peut être employée pour la mesure du rendement dans un cas particulier : dans le cas des moteurs autocompensés.

C'est la méthode de récupération indiquée par M. BLONDEL et appliquée en courants alternatifs.

On accouple mécaniquement une machine à courant continu et deux moteurs autocompensés à alimentation rotorique. On connecte les primaires des deux machines par l'intermédiaire d'un transformateur.

La tension au collecteur des deux machines autocompensées a été prévue de telle façon que ces machines puissent être utilisées en compensateur, c'est le cas de la série normale des moteurs autocompensés construits à Jeumont. Elles peuvent donc travailler à $\cos\varphi = 1$ en charge à vitesse hypersynchrone ou hyposynchrone par décalage des balais aussi bien en moteur qu'en génératrice.

Le but à réaliser est le suivant :

Il faut qu'à la vitesse de synchronisme, la première machine soit en charge en moteur à $\cos\varphi = 1$ et la seconde en charge en génératrice à $\cos\varphi = 1$.

Cette condition peut être obtenue par décalage des balais sur le collecteur et, s'il est nécessaire, par insertion d'une résistance dans le circuit secondaire des machines.

On amorce la génératrice qui débite sur le moteur et on s'arrange pour que la tension aux bornes du moteur soit égale à la tension normale des machines.

Pour que les deux machines soient dans le même état magnétique, on insère dans le circuit primaire le secondaire d'un transformateur de tension égale à $2RI$.

R étant la résistance d'une phase primaire des machines ;

I le courant commun.

Les deux forces électromotrices ont même grandeur et sont légèrement décalées par suite de la tension de fuites. Les conditions d'induc-

tion diffèrent un peu dans les deux machines, mais dans le cas de la marche à $\cos \varphi = 1$ et de fuites relativement faibles, cette erreur doit être pratiquement négligeable.

Le transformateur et le moteur à courant continu fournissent toutes les pertes ; il suffit de les connaître pour calculer le rendement des machines.

Des essais sont en cours aux F.A.C.E.J. ; les résultats permettront de déterminer le rendement avec précision et d'examiner le rapport de la réactance des fuites à la réactance des pertes, par élimination des pertes dues à la commutation.

Cette méthode est applicable aux moteurs asynchrones ordinaires compensés par changeurs de fréquence donnant une tension secondaire de valeur suffisante pour réaliser la marche en récupération à la même vitesse. Le schéma serait semblable au précédent.

Les primaires de l'ensemble des deux groupes sont connectés en parallèle par l'intermédiaire d'un petit transformateur.

Le moteur à courant continu et les deux machines compensées sont accouplées mécaniquement.

Cette marche en récupération pourrait être réalisée avec des machines synchrones et appliquée aux recherches sur les pertes supplémentaires.

Cette méthode présenterait des difficultés provenant principalement de l'angle de décalage à introduire entre les arbres des machines. M. Blondel a expérimenté, il y a déjà très longtemps, une méthode semblable du type Hopkinson, mais M. Guilbert a indiqué un dispositif pratique permettant de réaliser le régime désiré sans modification de calage des machines. Il consiste à caler les arbres des machines à essayer dans la position correspondant à l'opposition des phases et à remplacer le transformateur survolteur ordinaire par un transformateur à champs tournants permettant de faire varier la phase de la tension auxiliaire.

M. Lachaise lit la note ci-dessous de M. R. Marchand :

M. Le Monnier, dans une nouvelle et fort intéressante contribution, s'est, une fois de plus, efforcé de démontrer que la définition d'un rendement fictif des moteurs de petite puissance était fortement discutable. Cela tient essentiellement au fait que cette base, plutôt de nature commerciale, peut prêter à confusion quand il s'agit de savoir exactement si, oui ou non, le moteur en question est de bonne

conception ou supérieur, en tant que caractéristiques, à un autre moteur d'une autre provenance avec lequel il est à comparer.

Les savants travaux de M. E. Roth et les discussions fort remarquables de M. Belfils et autres ont néanmoins laissé subsister une incertitude sur la cause et l'importance de ces pertes supplémentaires, tout au moins pour ce qui concerne les moteurs de petite puissance.

Nous nous permettons, ci-après, de rendre attentif aux conclusions auxquelles sont arrivés Rogowski et Vieweg (1), conclusions résultant des études et essais que nous avons pu vérifier, en partie tout au moins.

L'importance des pertes supplémentaires est de l'ordre de 2 à 3 pour 100 des pertes trouvées par la méthode des pertes séparées.

Les pertes supplémentaires varient suivant la relation

$$k(I^2 - I_0^2)$$

où la constante k est variable avec les différents types de moteurs.

Les pertes supplémentaires ne sont pratiquement pas sensibles à la variation de l'induction, tout ou moins dans les limites normales. Par contre, elles varient environ avec la puissance 1,5 de la fréquence.

Nous sommes bien de l'avis de M. Le Monnier que les pertes supplémentaires dans le cuivre sont pratiquement négligeables ; en effet, elles ne sont que de l'ordre de 2 pour 100 dans les moteurs de petite puissance. Par contre, les pertes dans le fer méritent toute attention.

La méthode d'essai, dite de pertes séparées, admet que les pertes de fer ne varient pas avec la charge du moteur, en effet, la chute de tension due à la résistance et à la réactance ne modifie que très peu ces pertes. Par contre et cela par suite du changement de la réluctance, des champs à haute fréquence sont créés dans les dents du stator et du rotor et dont l'importance est variable avec la puissance du moteur. A la puissance de ces champs, s'ajoute d'autre part l'oscillation de la force magnéto-motrice ; les deux ont la même fréquence.

Il est cependant démontré que les pertes dues à la pulsation des champs dans les dents sont de beaucoup prépondérantes. Il y a donc bien lieu de s'efforcer de réduire les pertes par courant de Foucault pour diminuer l'importance des pertes supplémentaires.

Nous craignons fort qu'une formule tenant compte, pour l'expression de l'onde de la force magnéto-motrice, des pulsations de champs dans les dents, conduise à une expression, sinon impossible (2), tout au moins pratiquement peu applicable.

(1) Archiv für Elektrotechnik, tome XIV, page 1514.
(2) Voir la tentative particulièrement remarquable de M. Dreyfus (A.F.E. tome, XX

Nous croyons, pour notre compte, qu'il serait préférable de déterminer expérimentalement l'importance de ces pertes supplémentaires et de les faire intervenir pour la définition du rendement de la machine, c'est donc de cette façon que nous nous rencontrons avec les idées de M. Le Monnier.

Mais comment déterminer ces pertes par les essais? M. Le Monnier considère que l'analyse des échauffements est la seule méthode applicable, en particulier pour les moteurs asynchrones qui ne se prêtent pas aux essais à récupération.

Rogowski et Vieweg (1) ont cependant démontré que les pertes supplémentaires étaient dues principalement à l'augmentation des pertes provenant des pulsations des champs dans les dents du stator et du rotor et que ces pertes étaient proportionnelles aux

$$I^2 - I_0^2.$$

S'il est donc vrai que ces pertes ne dépendent que du courant et de la fréquence, il doit être possible de les déterminer par un essai en court-circuit; mais à l'essai normal en court-circuit d'un moteur asynchrone il n'y a pas de pulsation. Or, il suffit de créer un champ rotatif d'une façon analogue à celle de la machine synchrone, c'est-à-dire en alimentant le rotor avec du courant continu et en entraînant le moteur directement par une machine auxiliaire tarée. Nous obtiendrons alors dans la machine, en court-circuitant le stator, des pulsations des ampères tours semblables à celles qui se produisent en marche asynchrone normale.

Cette méthode, dite en court-circuit synchrone, a déjà été expérimentée et appliquée sur des moteurs à bagues (2), même à cage simple et à double cage (3).

M. Linckh notamment a fait une étude et des essais fort intéressants et dont le résultat semblerait en faveur de cette méthode.

Mais, si cet essai en court-circuit est applicable aux moteurs asynchrones, il n'y a pas de raison pour que la 2e méthode, dite en marche surexcitée (4) et employée pour des moteurs synchrones, ne soit aussi applicable pour les moteurs asynchrones.

Cette méthode se limiterait évidemment aux moteurs à bagues.

---

p. 37) d'établir une théorie des pertes de fer supplémentaires dans les moteurs asynchrones et de donner les moyens de les calculer.

(1) *Loc. Cit.*
(2) *Revue Siemens*, tome VII, page 233.
(3) M. Linckh, *A.F.E.*, tome XXIII, page 19.
(4) *Loc. Cit.*

Le bobinage stator est relié au réseau et le moteur est mis en marche normalement ; si l'on décourtcircuite le rotor et si on alimente avec du courant continu, le moteur tourne au synchronisme.

Dans cet essai, on aurait, en plus des pertes mécaniques, des pertes par effet joule et des pertes dues aux pulsations de champ, des pertes fer dues au champ de l'onde fondamentale.

La séparation des pertes dues aux pulsations des autres pertes, est réalisée en déduisant d'abord de la puissance primaire, les pertes R. I^2 du stator, le reste représente alors les pertes mécaniques et les pertes fer totales. Ces dernières se composent de deux parties, l'une variable avec le carré du courant, l'autre restant constante.

Les pertes supplémentaires seront donc égales à la différence des pertes fer totales en marche surexcitée par rapport à la marche normale.

M. Le Monnier ou d'autres Ingénieurs, parmi cette assistance, ont peut-être eu déjà l'occasion d'expérimenter ces méthodes, il serait intéressant de savoir quel est le résultat ainsi obtenu.

Nous craignons, en effet, que la méthode préconisée par M. Le Monnier dans sa fort intéressante étude et qui est une méthode thermique, conduise à des difficultés d'exécution presque insurmontables, difficultés qui résident surtout dans le fait des lectures absolument comparables.

M. Darrieus. — Il subsiste peut-être un petit malentendu entre M. Le Monnier et M. Roth.

Je demanderai à M. Roth si les pertes qu'à relevées M. Le Monnier ne sont pas d'une espèce particulière, parce que, si j'ai bien compris les travaux de Rogowski, il s'agit de pulsations dans le rotor en mouvement, qui dépendent du courant. Or, le moteur étant calé comme le signale d'ailleurs M. Marchand, ces pertes n'interviennent plus.

Il ne subsisterait donc plus que les pertes supplémentaires dues à ce que M. Le Monnier appelle les impuretés du champ, c'est-à-dire les harmoniques du champ, et ces pertes relèveraient plutôt de l'espèce dont a parlé M. De Pistoye.

M. Roth. — Je ne vois pas bien votre question. Il y a deux sortes de pulsations du champ. Les premières proviennent de la variation de réluctance, ce serait une perte que vous mesureriez. L'autre, celle que j'ai expliquée, qui est fonction de la charge, mais qu'on ne peut pas mesurer à vide.

M. Darrieus. — Seulement ces pulsations du champ dépendent du mouvement.

M. E. ROTH. — Il y a alors un champ tournant dans le moteur qui comporte des harmoniques dont la valeur relative par rapport au champ fondamental n'est d'ailleurs pas la même qu'en marche normale.

M. DARRIEUS. — Je voulais en faire la remarque à M. DE PISTOYE, les pulsations, rotor immobile, ne sont pas celles de Rogowski.

M. E. ROTH. — Les différences relevées par M. LE MONNIER proviennent des harmoniques du champ à l'arrêt.

M. DARRIEUS. — Ces harmoniques se traduisent par des pertes supplémentaires dans le cuivre plutôt que dans les dents.

M. E. ROTH. — Mais ces pertes-là varient beaucoup avec la vitesse du moteur, et l'exemple que j'ai donné d'un moteur absorbant 10 à 11 000 watts quelle que soit la position, mais où le couple varie de 1 à 3 a précisément pour but de montrer qu'il n'y a pas là une relation satisfaisante pour préjuger des pertes en marche normale.

M. DARRIEUS. — Dans le moteur bobiné, oui.

M. LE MONNIER. — Je n'ai pas envisagé les moteurs bobinés, je n'ai envisagé que les moteurs en court-circuit. J'ai fait un bobinage isolé, mais c'était tout de même un moteur en court-circuit.

M. E. ROTH. — Dans le cas d'une cage d'écureuil, les pulsations qui tendent à se produire dans la denture sont étouffées par un courant amortissant que Rogowski a mis en évidence en plaçant deux bornes sur une barre de la cage; l'oscillogramme accuse des harmoniques en grand nombre et de fréquences élevées.

M. DARRIEUS. — Le résultat de M. LE MONNIER paraît dépendre des harmoniques de champ qui produisent ces pertes dans le cuivre auxquelles faisait allusion M. DE PISTOYE.

M. E. ROTH. — Toutes ces pertes existent en général, que le moteur soit à cage d'écureuil ou à rotor bobiné.

Les pertes considérées par Rogowski n'apparaissaient qu'en charge, et elles constituent la fraction la plus importante des pertes supplémentaires.

M. DARRIEUS. — Oui, mais cette nature de pertes ne doit pas se manifester dans le cas de M. LE MONNIER.

M. E. ROTH. — C'est possible; et ce qui se manifeste dans le cas de M. LE MONNIER n'affecte presque pas le rendement et on ne peut pas en tirer les conclusions qu'il en tire.

M. DARRIEUS. — Les impuretés de champ se manifestent toujours.

M. E. ROTH. — Je ne comprends pas, car les impuretés du champ ne sont pas relativement les mêmes à vide et en charge, à l'arrêt ou en vitesse, pour un même courant.

M. DARRIEUS. — La question est de savoir si ces pertes sont dans le cuivre. Il est entendu que même à vide il y a des pertes supplémentaires dans le fer.

M. ROTH. — Je n'en ai pas parlé tout à l'heure, mais M. DE PISTOYE vous en a parlé. Elles sont d'ailleurs en grande partie comprises dans les pertes correspondant à la consommation à vide mesurée.

M. DARRIEUS. — Ce ne sont pas les pertes de Rogowski.

M. ROTH. — Non, mais Rogowski les cite, et il dit : je m'occupe des pertes supplémentaires en charge.

M. DARRIEUS. — Ce sont plutôt des pertes dans le cuivre dues aux champs harmoniques.

M. DE PISTOYE. — Je crois seulement qu'elles ne sont pas très importantes, car, je le disais tout-à-l'heure, pour 27 pour 100 de couple en moins ce qui correspond à un maximum assez rare, l'harmonique, s'il est du 11^{me} ordre par exemple, ne représente que 27 pour 100 au champ principal et les pertes correspondantes que 27 pour 100 de celles dues au champ principal.

M. LE MONNIER. — Je voudrais faire quelques réponses à différentes objections qui m'ont été faites.

1° M. ROTH signalait que dans certaines réglementations étrangères, on trouvait inutile de garantir les courants à vide. C'est possible, mais ce n'est pas au constructeur de dire que le rendement n'intéresse pas le client à 2 ou 3 pour 100 près; nous serions peut-être mal reçus si

nous venions dire que le rendement avec cette approximation suffit largement.

2° Tout à l'heure, en faisant le résumé de cette question, je vous avais dit qu'il y avait certains détails de construction qui confirmaient les thèses que j'avançais, mais auxquels je ne m'arrêtais pas, parce que ce sont des détails de constructeurs.

Par exemple, l'emploi des tôles de 1 millimètre dans les rotors, sous prétexte qu'il n'y a pas de fréquence. Cette façon de faire est une de celles qui met en évidence l'importance des pertes supplémentaires, parce que non seulement les pertes à vide sont légèrement augmentées — mais légèrement seulement — tandis que les pertes en charge dues aux tôles grossières du rotor le sont infiniment plus.

C'est une preuve de plus que les pertes supplémentaires résident bien dans le fer et que les rendements apparents qui n'en tiennent pas compte peuvent égarer complètement l'usager sur la valeur de son moteur. Par exemple, des rendements apparents égaux pour deux moteurs, l'un ayant au rotor des tôles de 1 millimètre, et l'autre de 5/10^e, ne correspondent pas à des rendements vrais égaux.

3° M. Roth m'a demandé pourquoi je n'avais pas parlé des machines à courant continu. En effet, je me suis limité au cas des moteurs asynchrones de petite puissance. Pour les machines à courant continu, il y a beaucoup d'autres ressources, essais en récupération par exemple, qui n'existent pas pour les moteurs asynchrones en court-circuit. Les essais en génératrice synchrone en court circuit sont inapplicables également pour le moteur asynchrone en court-circuit. Nous n'avons donc pas de règles de détermination du rendement vrai, pour le petit moteur.

4° Pour ce qui est du couple au départ, je n'ai pas trouvé sur les moteurs que j'ai essayés, qui peut-être avaient été centrés avec un certain soin, les écarts considérables d'un point à l'autre dans les positions du rotor que M. Roth et M. De Pistoye ont signalés. Sur des moteurs modernes bien faits et convenablement centrés, le couple est bien sensiblement constant dans toutes les positions, de sorte que les valeurs que j'ai données ne sont pas les valeurs favorables à ma thèse, choisies au point minimum du couple, c'est la valeur réelle du couple, et la mesure aux bornes reste entière.

5° M. Letrilliat m'a demandé pourquoi je n'avais pas parlé des pertes dans le fer des rotors. Dans les essais que j'ai faits, les tensions étaient assez réduites pour avoir des courants assez réduits, de façon à ne pas apporter de perturbations dues aux échauffements dans les

enroulements. Dans ces conditions, les pertes magnétiques dans le rotor sont extrêmement faibles à côté des autres, sensiblement négligeables, et bien inférieures aux écarts que j'observais.

6° Enfin, parmi les méthodes d'essais proposées, je dirai que les essais en récupération sont inapplicables pour la mesure du rendement des moteurs en court-circuit, cas que j'ai envisagé.

Ces essais sont très intéressants comme procédé de charge des moteurs, mais l'interposition de courroies et de poulies, nécessaire pour obtenir l'écart de vitesse correspondant à la charge dans la marche en réceptrice et la marche en génératrice, introduit de nouveau des écarts dus au glissement de la courroie qui rend inadmissible cette méthode de mesure des pertes.

Pour arriver à une mesure saine de ces rendements, ce sont donc des pertes qu'il faut atteindre, et immédiatement on est conduit aux mesures des échauffements.

C'est pour cela qu'à la fin de cette discussion, je me vois presque obligé de persévérer dans mon erreur et je ne vois pas que nous puissions trouver mieux que la mesure directe par échauffement pour les moteurs asynchrones en court-circuit de petite puissance.

C'est un peu compliqué, mais il ne semble pas que pour des moteurs de construction courante, les frais soient disproportionnés avec l'intérêt que cela représente, même pour la clientèle.

M. ROTH. — J'ai seulement dit tout à l'heure, M. LE MONNIER, que des essais en court-circuit avaient été tentés comme pour un alternateur en alimentant le stator en courant continu, dans le cas des moteurs en cage d'écureuil.

M. LE MONNIER. — Les conditions, alors, ne sont plus du tout les mêmes; cet essai n'a plus aucun rapport avec le fonctionnement normal.

M. ROTH. — C'est comme cela que les essais dont j'ai parlé ont été faits.

M. LE MONNIER. — On ne peut plus parler des impuretés de champ.

M. ROTH. — Il est évident que les impuretés du champ, pour employer votre expression, sont modifiées; mais des essais semblent montrer que les pertes correspondantes peuvent être du même ordre qu'en marche normale.

M. LE MONNIER. — Non.

M. ROTH. — Dans ces essais en court-circuit avec alimentation du stator ou du rotor en courant continu, on s'approche cependant plus de la répartition réelle des ampères-conducteurs en alimentant par le stator.

M. LE MONNIER. — Dans ce cas-là, comment faites-vous pour retrancher les pertes par effet Joule dans le rotor?

M. ROTH. — Il y aurait peut-être lieu de faire une communication plus détaillée sur ces travaux. Mais il semble que ce n'est pas le moment de continuer la discussion.

M. DARRIEUS. — Il est intéressant de garder cette question à notre ordre du jour, elle est très importante.

Je ferai seulement au sujet du mémoire de M. LE MONNIER, une remarque qui se rattache un peu à la question qu'a soulevée M. MAUDUIT tout à l'heure.

Il est un cas où, comme je le disais, par exemple pour déterminer les pertes dans le fer, notamment dans les dents, il faut scinder les fuites totales en deux parts afférentes au stator et au rotor.

Le flux dans le fer n'est, en effet, en court-circuit, que la moitié environ du flux à vide correspondant à la tension relevée aux bornes, et auquel demeure égal le flux total à travers le stator ; cette moitié seulement qui atteint le fer sert à alimenter les fuites du rotor, tandis que le reste est déjà prélevé par les fuites du stator.

M. LE MONNIER. — Oui.

M. DARRIEUS. — D'ailleurs, bien que je ne l'aie pas vérifié, je crois que cela renforcerait plutôt votre thèse. La question reste entière.

M. LETRILLIART. — Je voudrais poser une question à M. LE MONNIER. Les impuretés du champ dit-il, ne sont pas modifiées par l'inclinaison des encoches. A charge égale, l'échauffement du moteur à 6 encoches par pôle est de 20 pour 100 plus élevé que celui du moteur à 12 encoches, mais inclinées. Quand les encoches sont droites, dans le second essai, ce moteur a une puissance supérieure de 25 pour 100 au premier.

Il paraît ressortir de ces essais que les pertes supplémentaires ont diminué en passant des encoches inclinées aux encoches droites ?

M. Le Monnier. — C'est en passant de 24 à 48 encoches, et non d'encoches inclinées à des encoches droites que les échauffements ont diminué.

M. Letrilliart. — Les deux moteurs avaient 12 encoches par pôle dans les deux essais.

M. Le Monnier. — Oui, mais j'ai envisagé deux réalisations différentes à 12 encoches : d'une part avec inclinaison normale des encoches, d'autre part en forçant l'inclinaison pour augmenter la tension de réactance et l'amener à la même valeur que pour le moteur à 6 encoches.

Dans ce dernier cas, c'est par des fuites pures, entre les bobinages du stator et du rotor que je provoque la tension de réactance, tandis que dans le cas du moteur à 6 encoches c'est par les impuretés de champ.

Cet essai me semble mettre en évidence la distinction à faire dans les origines de la tension de réactance. Ces origines peuvent être, soit les impuretés du champ, parce que nous avons des champs tournants de polarité supérieure qui induisent tous à 50 p : s une force électromotrice dans l'enroulement principal, soit des fuites magnétiques classiques, tandis que les premières échappent à la représentation par le spectre.

M. Darrieus. — C'est la dispersion en zig-zag.

M. Le Monnier. — C'est cela, tandis que les fuites que j'ai provoquées en inclinant les encoches sont des fuites pures, qui ne correspondent pas en même temps à la production de pertes supplémentaires dans le fer. La meilleure preuve en est que l'échauffement n'a pas changé, pas augmenté en inclinant plus ou moins les encoches dans le moteur à 12 encoches.

M. Letrilliart. — L'échauffement a varié des encoches droites aux encoches inclinées.

M. Le Monnier. — Non. Pour arriver à un moteur ayant la même tension de réactance, j'ai exagéré l'inclinaison des encoches, et l'encoche du stator recouvre au moins deux encoches du rotor. Mais le champ n'a pas changé, la forme en est restée la même, puisque l'encoche est la même pour un même courant.

Sur ce point, il faudrait peut-être une explication complémentaire.

M. Darrieus. — Je crois que cette difficulté illustre bien le caractère artificiel de la séparation de la tension de réactance.

Du point de vue physique tout est parfaitement clair quand on ne cherche pas à distinguer les flux totaux, sinon par les fractions qui embrassent tel ou tel circuit ; les difficultés apparaissent avec la notion factice des fuites partielles.

M. Letrilliart. — Vous avez écrit dans votre rapport : « construit normalement, sans incliner les encoches » ?

M. Le Monnier. — Je dis « ce moteur-là aurait... » Je ne l'ai pas essayé, je n'ai pas vérifié les échauffements du moteur normal à 12 encoches dont les caractéristiques de facteur de puissance, par exemple, n'auraient plus été comparables à celle du moteur à 6 encoches.

M. Letrilliart. — Il est probable que les puissances ne seraient pas dans le rapport indiqué, puisque les échauffements des premiers moteurs diffèrent de 20 pour 100.

M. Le Monnier. — Les échauffements comparés portent sur un moteur à 6 encoches par pôle et sur un moteur à 12 encoches par pôle, ayant les mêmes bobinages ; comme vous l'avez dit tout à l'heure j'aurais pu, dans le moteur à 6 encoches mettre plus de cuivre, mais les pertes Joule n'auraient pas été comparables, de sorte que j'ai maintenu exactement les mêmes bobinages.

Comme le moteur à 12 encoches aurait été très bon, bien meilleur que l'autre, je l'ai transformé pour le ramener au même niveau, et pour ce faire j'ai incliné les encoches. Ainsi je n'ai pas modifié la forme du champ ni ses impuretés.

M. Letrilliart. — La comparaison des puissances dans l'exemple des moteurs de 20 ch ne paraît pas exacte : on pourra fournir avec le premier de ces moteurs une puissance de 16 ch, alors qu'avec le second on atteindra 20 ch ?

M. Le Monnier. — Cette comparaison des puissances se rapporte bien au moteur tout à fait normal sans inclinaison d'encoches.

M. Letrilliart. — Si l'inclinaison n'a pas changé les pertes, elle a changé le facteur de puissance.

M. Le Monnier. — Oui elle l'a tout simplement abaissé de 89 à 86,

mais cet abaissement n'a pas été accompagné, comme dans le cas du moteur à 6 encoches par une augmentation des pertes inconnues considérable.

Voilà ce que j'avais voulu mettre en évidence dans cet essai d'échauffement.

M. De Pistoye. — Est-ce que le moteur à 24 encoches et le moteur à 48 ont donné les mêmes pertes dans le fer ?

M. Le Monnier. — Oui, sensiblement, à très peu près ; je crois qu'elles sont mentionnées, il y avait extrêmement peu d'écart.

Les encoches étaient trop grandes, c'est entendu, j'aurais pu mettre plus de cuivre, mais c'eût été inutile, parce que la majeure partie de l'échauffement était due au fer, et augmenter le cuivre n'aurait pas contribué sensiblement à le refroidir.

M. Gratzmuller. — M. Le Monnier a très heureusement attiré à nouveau et vivement l'attention des électriciens sur les pertes supplémentaires dans les moteurs asynchrones.

Il importe de remarquer à cette occasion que la théorie du calcul du moteur à cage d'écureuil n'existe que parce qu'on néglige généralement les harmoniques du stator.

La fraction de la puissance électrique transmise par le stator au rotor à travers l'entrefer et perdue dans le rotor est égale au glissement. La proposition est inattaquable me semble-t-il et d'application commode comme méthode d'essai.

Mais dans son application à la prévision du fonctionnement du moteur, le calcul usuel néglige la présence d'harmoniques. Pratiquement, on se contente généralement d'écrire que les ampères-conducteurs actifs du rotor sont égaux aux ampères-conducteurs actifs du stator. En somme cela consiste à supposer que le problème est résolu en négligeant les harmoniques. Il en résulte que les pertes dans le cuivre du rotor, en supposant la densité efficace du courant également répartie, est d'estimation facile.

Je crois utile de saisir l'occasion de constater qu'une théorie solide de la cage d'écureuil permettant de calculer et surtout de prévoir les valeurs instantanées des courants dans chacune des barres du rotor n'existe pas, du moins à ma connaissance.

On sait cependant que certains nombres de barres au rotor, toutes choses égales, produisent le phénomène du rampage et que certains nombres de barres donnent satisfaction.

Il me semble qu'un mode de calcul, prédéterminant ces phénomènes doive être envisagé et doit pouvoir l'être. tout au moins approximativement.

Il s'agit certainement d'une question d'harmoniques.

M. Darrieus. — Autant que je sache, il y a bien une explication, mais peut-être pas de calcul détaillé.

M. Roth. — Un grand travail vient d'être publié à ce sujet.

M. Gratzmuller. — Avec une démonstration solide ?

M. Roth. — Je ne l'ai pas encore étudié ; il est paru dans *Archiv für Elektrotechnik*, tome XXIV — 1930 — page 401, sous la signature de H. Möller et a pour titre : *Sur les couples au démarrage des moteurs polyphasés à cage d'écureuil.*

M. Gratzmuller. — Si vous vouliez bien en parler à la Première Section, vous rendriez service.

M. Letrilliart. — Les pertes supplémentaires à vide peuvent être importantes par rapport au total des pertes supplémentaires. Dans certains cas, le calcul par la méthode de Dreyfus, donne des pertes supplémentaires à vide de l'ordre de la moitié des pertes supplémentaires en charge.

M. Le Monnier. — Les pertes supplémentaires à vide ne varient pas sensiblement d'un moteur à l'autre.

M. Letrilliart. — Pour un moteur donné, elles ne dépendent que de la tension, mais elles varient certainement en passant du moteur à 6 encoches par pôle au moteur à 12 encoches.

M. Le Monnier. — La fréquence n'est pas la même et au total il y avait à peu près compensation, vous l'avez dit tout à l'heure, les pertes sont sensiblement les mêmes.

M. Darrieus. — Pour qu'il n'y ait pas de malentendu, je voudrais savoir si nous sommes tous d'accord qu'il s'agit des pertes à vide dues à ce qu'une dent se trouve tantôt en face d'une encoche, et tantôt en face d'une autre dent ?

M. ROTH. — Cela peut dépendre de la façon dont vous définissez les pertes supplémentaires. Souvent on les définit comme des pertes qu'on ne peut pas calculer, souvent comme celles qu'on ne peut pas mesurer. S'il y a des pertes supplémentaires à vide dues à la raison que vous indiquez et accessibles au calcul, les pertes supplémentaires les plus importantes apparaissent certainement dans le fer en charge.

M. LE MONNIER. — On mesure facilement les pertes supplémentaires à vide.

M. ROTH. — Elles sont comprises dans les pertes à vide.

M. DARRIEUS. — Celles de ROGOWSKI relèvent du schéma dessiné par M. ROTH en commençant.

M. ROTH. — Dans ce que M. MARCHAND vous a dit tout à l'heure, et, dans les recherches dont j'ai parlé, vous avez vu que les pertes supprémentaires paraissaient être proportionnelles à la différence du carré des courants en charge et à vide.

M. LE MONNIER. — Oui.

M. DARRIEUS. — Cette différence est le fait d'une convention, c'est le qualificatif additionnel.

M. ROTH. — Non, ROGOWSKI a mesuré les pertes. Si on porte en abscisses le carré des courants du stator et en ordonnées les pertes supplémentaires, on obtient une droite qui coupe l'axe des abscisses au carré du courant à vide.

M. DARRIEUS. — Cela revient à imputer le résidu aux pertes à vide.

M. LE MONNIER. — C'est un moyen de séparer dans les pertes à vide les pertes dans la masse du fer proprement dite, et les pertes dues aux pulsations.

M. ROTH. — Ce n'est pas physiquement une droite, c'est peut-être par hasard que c'est une droite dans le cas particulier.

M. DARRIEUS. — Dans la théorie, c'est une droite.

M. LE MONNIER. — Si on admet qu'elles sont proportionnelles à vide

au carré du courant à vide, c'est qu'on admet bien théoriquement qu'elles sont représentées par une droite dans le total des pertes à vide que nous pouvons relever.

M. ROTH. — Je parle d'un relevé d'essais, qui donne sensiblement une droite.

M. LE MONNIER. — En machine synchrone et en court-circuit ?

M. ROTH. — Non, d'après la méthode directe.

J'ai expliqué que ROGOWSKI avait pris la méthode directe. Il estime la précision de ses mesures à 0,5 pour 100. Pour un moteur donné, il a déduit les pertes supplémentaires en charge et les a tracées en portant en abcisses les carrés des courants lus. Il a pu en conclure que les pertes supplémentaires étaient dans ce cas proportionnelles à la différence des carrés des courants.

M. DARRIEUS. — Ce carré s'interprète rationnellement ?

M. ROTH. — *A priori*, le courant n'a rien à y voir.

Le courant produit bien un champ, et la force magnétomotrice est proportionnelle au courant ; mais c'est la différence des courants du stator et du rotor qui agit sur des circuits comprenant les dents et où peuvent jouer des influences de saturation. Ces flux parasites passent, en effet, dans des dents ou il y a déjà un autre flux, on ne peut donc pas dire que l'induction correspondante augmente proportionnellement au courant. Il faudrait d'ailleurs encore admettre que la perte correspondante augmente proportionnellement au carré de l'induction.

Ce n'est donc pas nécessairement une droite. L'expérience montre que c'est un droite dans un cas particulier, mais théoriquement ce n'est pas toujours évident.

M. DARRIEUS. — Je crois qu'on peut l'expliquer par les petites impuretés du champ.

M. ROTH. — Ces impuretés se superposent au champ tournant normal.

M. DARRIEUS. — Je ne crois pas que nous puissions conclure.

M. LE MONNIER. — La saturation est ce qui peut justifier l'allure des pertes magnétiques dans le moteur asynchrone beaucoup plus rapide-

ment ascendante que la courbe des pertes dans les tôles, parce que, plus le courant à vide augmente, plus des champs parasites de haute polarité ont de l'influence.

M. ROTH. — Le phénomène que je considère n'existe pas à vide.

M. LE MONNIER. — Si, il existe à vide. Il y a un courant à vide qui fausse le rapport de transformation. A vide, il y a une petite tension de réactance due aux impuretés du champ, et plus la saturation est grande, plus le courant est grand, plus ces champs parasites ont de l'importance vis-à-vis du fondamental.

C'est là l'explication que je vois à l'allure très ascendante que prennent les courbes de pertes magnétiques dans les machines asynchrones.

Ce n'est plus uniquement l'induction dans la masse de la tôle qui intervient. Il y a en outre l'influence des champs parasites.

M. MAUDUIT. — Un simple mot. Si on admet que cette droite ne soit pas une représentation approximative d'essai, mais possède une signification physique, qu'est-ce que cela voudrait dire ? Que les pertes sont proportionnelles au carré des champs qui seraient produits par des courants dans une réluctance constante.

Or, toutes ces pertes, quelles qu'elles soient sont dues à des variations de champ où à des champs parasites dans la denture, c'est-à-dire dans une zone comprise entre les deux enroulements, dans une zone de fuite. Il est fort possible que dans cette zone de fuite les flux autres que le flux principal soient relativement voisins de la proportionnalité avec les courants.

Cette formule indiquerait simplement qu'il se ferait une sorte de moyenne, d'où il résulterait que les pertes sont proportionnelles au carré des champs qui eux-mêmes sont proportionnels aux courants.

Je voudrais faire remarquer aussi que tous ces essais en court-circuit sont faits toujours dans des conditions très différentes de la marche normale et que, si on arrive à égaliser deux choses, toutes les autres restent différentes.

C'est donc extrêmement compliqué. Je crois qu'on arrivera difficilement à dégager les raisons de détail de tout ceci.

Une forme linéaire montre qu'il se fait une espèce de compensation, et cette droite n'est peut être pas très loin d'avoir une signification physique au moins approximative.

M. DARRIEUS. — La proportionnalité au carré du courant pourrait s'expliquer de la manière suivante :

Admettons seulement la proportionnalité des pertes totales dans le fer au carré du champ, que réalisent sensiblement les qualités modernes de tôles, même pour ce qui dépend de l'hystérésis (JOUAUST). Dans ces conditions, nous avons à superposer en chaque point, pour avoir l'induction résultante dans une dent particulière, une induction principale due au courant à vide, et une induction additionnelle, due au courant en charge dans le fer déjà aimanté, puis à faire le carré.

Nous obtenons ainsi les pertes principales, un terme rectangle et un terme carré.

Le résultat de ROGOWSKI s'interprète simplement si ce terme rectangle disparaît dans la sommation pour l'ensemble du fer. Or, il est probable qu'en général il en sera bien ainsi : Les régions où le champ local se retranche du champ primitif sont compensées par d'autres où le champ additionnel s'ajoute au contraire au champ primitif, de sorte que les deux répartitions initiale et surajoutée sont, diraient les physiciens, orthogonales ; de même que les pertes Joule s'ajoutent simplement lorsque des nappes de courant de polarité différente se superposent, de même les pertes dans le fer principales et dues à l'effet Rogowski seraient indépendantes.

M. MAUDUIT. — Il me semble que ce que vous venez de dire confirme ma remarque.

Toutes ces pertes spéciales proviendraient de champs supplémentaires, mais peu importe. Cela reviendrait à admettre que le champ primaire, à vide comme en charge, fournirait des champs supplémentaires proportionnels à la valeur du courant primaire.

C'est assez admissible, si vous ajoutez que dans cette zone ces champs supplémentaires sont surtout constitués par des fuites suivant des chemins très compliqués dans l'air.

M. MATHIVET rappelle son rapport sur *l'équilibrage hydraulique des Stations centrales des thermiques* (1) et conclut :

M. MATHIVET. — Je n'ai que peu de remarques à ajouter au rapport original qui a été publié dans le Bulletin de septembre de la Société Française des Electriciens.

La principale objection qui a été faite au système des bassins d'équi-

(1) *Bulletin de la Société Française des Electriciens.* Septembre 1930.

librage est qu'il n'est pas prouvé que leur emploi soit économique et qu'il semble préférable de régulariser le graphique quotidien des centrales thermiques, soit à l'aide d'usines électrochimiques ne travaillant que la nuit, soit à l'aide d'un nombre aussi grand que possible de chauffe-eau électriques installés chez tous les clients des secteurs et ne travaillant également que la nuit, grâce à des tarifs appropriés.

Ce que l'on ne dit pas, c'est que tout d'abord, il faudra trouver des clients aux usines électro-chimiques envisagées et il faudra être sûr de vendre les produits fabriqués (cyanamide, potazote, carbure de calcium) et surtout il faudra être sûr de vendre ces produits à des prix rémunérateurs.

Si l'on s'en tient à la solution des chauffe-eau électriques, il faudra, pour saturer le graphique nocturne, installer un très grand nombre de canalisations et d'appareillages.

On nous cite toujours l'exemple de la ville de Bâle, mais il n'est pas du tout certain que les sociétés distributrices de Bâle n'auraient pas dépensé moins en réalisant l'équilibrage hydraulique qu'en installant des chauffe-eau électriques avec obligation pour les clients de ne faire marcher ces chauffe-eau que la nuit.

A notre avis, le meilleur des clients nocturnes d'une centrale thermique, c'est elle-même ; il vaut mieux qu'elle charge la nuit ses turbines à vapeur avec ses propres bassins d'équilibrage pour récupérer l'énergie emmagasinée le jour aux heures de pointe ; elle sera toujours maîtresse de choisir ses heures de charge et de décharge sans dépendre du caprice de ses clients.

D'ailleurs et bien avant que nous traitions cette question dans les revues techniques, les Ingénieurs de l'Union d'Electricité, sous l'impulsion de leur éminent Administrateur-Délégué, M. Ernest Mercier ont mis à l'étude une installation d'équilibrage qui sera située à 130 km de Paris.

Les bassins d'équilibrage auront chacun une capacité de 1 500 000 m³ environ ; la dénivellation entre les deux bassins sera de 170 mètres ; les groupes d'équilibrage auront une puissance de 25 000 kW ; le nombre de kWh que l'on pourra emmagasiner par jour sera de 400 000 kWh.

En Alsace, la Société des Forces Motrices du Haut-Rhin est en train d'équiper également 2 lacs très importants situés aux environs de Colmar, appelés le lac Blanc et le lac Noir ; le lac Blanc, qui est le bassin supérieur, a une capacité de 2 000 000 de m³, le lac Noir, qui est le bassin inférieur, a une capacité de 4 600 000 m³.

La dénivellation entre les deux bassins est de 100 mètres en moyenne.

Les groupes d'équilibrage auront une puissance de 25 000 kW et le nombre de kWh que l'on pourra emmagasiner dans une journée sera 470 000 kWh comme pour l'Union d'Electricité.

Il serait désirable que certaines grandes villes de France qui sont justement placées au bord de rivières et dominées par des collines ou plateaux très élevés soient munies, elles aussi, de bassins d'équilibrage; nous pouvons citer comme rentrant dans le cas envisagé, les cinq villes suivantes :

Rouen, Lyon, Marseille, Limoges, Tours.

Nous restons persuadés que les Sociétés distributrices de ces cinq villes auraient grand intérêt à réaliser des installations identiques à celle de l'Union d'Electricité et de la Société des Forces Motrices du Haut-Rhin.

M. Rauber. — M. Mathivet a eu parfaitement raison d'attirer l'attention de la Société des Electriciens sur cette question, qui, depuis plusieurs années, est à l'étude en Allemagne.

Je puis en parler, parce que j'ai eu, avec un de mes collaborateurs, à étudier des cas d'accumulation.

Une station de pompage ne peut pas toujours être placée à côté de l'usine. Une ville n'a pas toujours des hauteurs à côté d'elle, on doit prendre alors la station de pompage le plus près possible

Dans notre cas particulier, il y a des hauteurs d'une soixantaine de mètres aux environs de Paris, mais elles impliquent un volume d'eau énorme. Nous avons aussi de tels projets à l'étude pour des hauteurs de 60 mètres, mais déjà pour 170 mètres de hauteur, qui est celle de nos études principales, il faut mettre en œuvre des volumes d'eau considérables.

M. Mathivet disait qu'on aurait dû faire des stations de pompage plus tôt. Il n'est pas certain qu'on aurait pu le faire, parce que, pour les réaliser à grande distance de Paris, il faut compter avec la transmission. La transmission a fait des progrès énormes, et l'état de la question il y a 20 ans n'aurait peut-être pas permis de faire des lignes à haute tension.

Ceci dit, j'ai encore quelques observations à ajouter à ce qu'a dit M. Mathivet.

Il est assez difficile de savoir si réellement les stations sont économiques au point de vue thermique. Qu'elles le soient au point de vue hydraulique, ce n'est pas douteux, mais du point de vue thermique, la question est plus difficile. Il ne faut pas faire des calculs sur la courbe-type qui est la courbe du maximum d'hiver. Il faut considérer que dans l'année il y a 365 jours, et parmi eux 52 dimanches, 52 sa-

medis, et qu'il y a encore des jours d'été où il n'y a pas de pointe d
tout, de sorte qu'il faut faire l'étude complète de la question.

C'est ce que nous avons eu l'intention de faire.

Nous avons considéré, non pas seulement les courbes d'hiver, ma les courbes de toute l'année. Il nous a fallu un examen très minutieu et nous avons donné au congrès de Berlin cette année le résumé de l méthode que nous avons employée.

Cette méthode est assez complexe. Pour évaluer les économies pos sibles, il faut comparer la consommation réelle des Centrales avec l consommation qu'on obtiendrait si les Centrales avaient des horair rectifiés, et ce n'est pas très aisé.

Je ne veux pas entrer dans le détail des méthodes que nous avon employées. Nous avons pu ramener le nombre de courbes de l'ann à seulement 7 courbes pour lesquelles nous avons pu faire le calcu complet.

Je vais vous donner le résultat de nos études.

Au point de vue thermique, la banlieue parisienne a un horaire d 3 000 heures. C'est l'horaire du réseau de l'Union d'électricité pou l'année 1928, mais la région parisienne toute entière a une utilisatio de l'ordre de 2 400 à 2 500 heures.

Or, si on analyse les causes d'économies possibles de l'exploitation on en trouve trois.

Bien entendu, il y a une économie de charbon, mais elle est peut être faible. Nous avions déduit de nos chiffres qu'elle pouvait peut-être ne pas dépasser 3 pour 100 mais il est certain que nos calculs étaien prudents. Nous avons cru pouvoir tirer de comparaisons avec des Cen trales américaines que nos chiffres étaient modestes, et qu'on pouvai peut-être compter sur 6 pour 100. Cependant, comme il s'agissait d'un calcul pour les bases financières, nous n'avons gardé que 3 pour 100

Il y a un autre point de vue intéressant, ce sont les dépenses de pre mier établissement.

Si on dispose d'un bon emplacement — c'est le cas pour l'empla cement que nous avons choisi — on peut arriver à faire une usine de pompage qui soit plutôt moins chère qu'une usine thermique de même puissance — je ne dis pas hydraulique. — On peut arriver à peut-être 30 pour 100 de moins que l'usine thermique, à condition d'employer de très grosses unités, et pour cela il faut une certaine hauteur. Avec 50 ou 60 mètres de hauteur on ne pourrait peut-être faire que des unités de 10 000 KW, de sorte que, dans des conditions favorables, on peut gagner au point de vue premier établissement — c'est-

à-dire, *à fortiori*, en raison des durées d'amortissement, au point de vue charges financières.

Il y a un troisième point concernant l'économie d'exploitation. Les dépenses autres que celles du charbon, qui sont assez onéreuses dans les usines thermiques, le sont beaucoup moins dans les Centrales hydrauliques, de sorte qu'on trouverait là aussi une économie qui ne serait pas négligeable.

M. Mathivet a donné dans sa communication des chiffres assez élevés. Il a parlé d'une vingtaine de millions pour l'exploitation de la région parisienne. Je pense qu'il a basé ses économies sur le charbon ?

M. Mathivet. — Oui.

M. Rauber. — Nous ne sommes pas arrivés à des conclusions aussi favorables, car nous sommes obligés d'être prudents.

Quoi qu'il en soit, il est certain que les économies pourraient être élevées.

Mais faut-il engager des dépenses de cent ou deux cent millions ? la question est là.

Il est certain que, considéré dans la région de Paris, avec des usines de très grande puissance, le problème de l'équilibrage hydraulique de la charge, même thermique, est on peut le dire, une solution favorable. Bien entendu ces stations d'équilibrage pourraient aussi régulariser du courant hydraulique, ce qui donnerait une raison d'être supplémentaire à ces stations.

Enfin il y a encore une raison supplémentaire de les créer, c'est la question du secours immédiat. Les usines hydrauliques constituent en effet un secours pratiquement immédiat.

Nous avons envisagé 10 000 KW pour le début, et 200 000 KW dans l'avenir.

Un avantage de l'emploi du pompage, c'est que si l'emplacement est favorable, la puissance qu'on peut installer n'est pour ainsi dire pas limitée. Il suffit de faire un bassin supérieur, un bassin inférieur égal, et il n'est même pas forcé que les bassins soient énormes si on admet une utilisation très faible. La puissance est dans une certaine mesure illimitée.

M. Mathivet. — Je suis d'accord avec M. Rauber.

Je retiens seulement un passage de ses observations; dans une année il y a beaucoup de jours fériés, et j'avais dit au congrès de Bruxelles

que peut-être l'équilibrage serait plus intéressant s'il était relatif au repos dominical des agents des Centrales.

Vous savez combien ce service du dimanche est difficile dans les Centrales, et je voyais comme réalisé, même à Paris, que le dimanche ce seraient les stations de pompage qui marcheraient, et non les chaudières des turbines ce qui permettrait d'être tranquille et de diminuer le personnel à presque rien.

C'est là aussi un des intérêts de la question pour la sécurité d'exploitation.

M. Rauber. — Evidemment il y a un intérêt au point de vue ouvrier. On transformerait en partie une station thermique en station hydraulique.

A ce point de vue il y aurait un avantage, mais quant à dire qu'on pourrait se passer de marcher le dimanche, je ne dis pas cela tout à fait. Nous avons même complètement négligé dans nos calculs d'économie le point de vue du dimanche parce que nous étions obligés de procéder par défaut.

J'aurais dû ajouter quelque chose. M. Mathivet a parlé de l'accumulation thermique dans les mines.

Evidemment, dans les mines on dispose d'une hauteur favorable, de 500 mètres par exemple. Mais pour 500 mètres il faut avoir un mètre cube d'eau pour disposer d'un kWh.

Est-il possible de faire, dans les mines, des réserves d'eau à les prix acceptables? Je ne le sais pas.

Il y a encore autre chose. Si on installait de petits groupes de 1 000 ch, comme le prévoit M. Mathivet je ne suis pas certain que les résultats sur lesquels nous avons basé nos calculs, puissent être obtenus. Nous avons envisagé un rendement de 50 pour 100 qui sera certainement dépassé, mais dans le cas de petites unités il n'est pas certain que ce rendement le soit ou soit même atteint.

De sorte que je ne suis pas sûr que ce que j'ai dit aurait le même intérêt pour les petites puissances.

La question des puits et des réservoirs me paraît fondamentale, et aussi la place qu'il faudrait pour mettre des conduites au fond des puits. Le mètre de galerie doit coûter assez cher, et le mètre de puits encore plus cher.

M. Mathivet. — J'ai déjà répondu par avance à cette objection.

Dans les mines du Nord, les conduites existent déjà, les réservoirs aux pieds des puits existent aussi, il y a seulement à installer à côté l'usine d'équilibrage.

Quand on étudie le volume de charge demandé par la machine à extraction, on constate qu'on fera toute l'extraction électrique dans un puits avec un groupe de 1 000 à 1 200 ch au fond du puits. Le réservoir n'a pas besoin d'une capacité de plus de 5 000 m^3, or des réservoirs de 5 000 mètres cubes au fond des puits, il en existe déjà pour la réserve quotidienne des pompes électriques, qui refoulent l'eau à 600 mètres.

Il y a même des puits, — où il existe de véritables chambres ayant jusqu'à 40 000 mètres cubes de capacité souterraine. Nous connaissons une concession dans laquelle une de ces chambres est encore pleine d'eau à 300 mètres sous terre, et on exploite à 420 mètres le charbon avec l'eau au-dessus de la tête. Le terrain est assez solide, et quand cette eau devient gênante on ouvre un robinet, on laisse tomber l'eau au fond du puits et c'est la pompe souterraine qui est en-dessous qui renvoie cette eau au jour, et qui nous en débarrasse.

Supposez qu'on vide complètement cette poche d'eau, voilà un réservoir de peut-être 100 000 m^3, peut-être davantage qui est disponible pour faire l'équilibrage.

Seulement, vous connaissez le proverbe : nul n'est prophète en son pays : Je ne suis pas arrivé à convaincre mes collègues du fond. Quand j'en ai parlé il y a 4 ou 5 ans, les ingénieurs du fond n'ont objecté que leur mine étant grisouteuse, ces groupes d'équilibre pourraient être dangereux.

Or remarquez que dans ces mêmes puits nous avons, comme je vous le disais, des groupes de 600 ch, qui pompent l'eau et pour lesquels on n'a jamais objecté la présence du grisou.

Il suffira que quelques ingénieurs français aillent dans le bassin de la Ruhr et voient un groupe d'équilibrage de 1 000 ou 1 200 ch, pour qu'après cela toutes les mines françaises soient dotées de groupes d'équilibrage : Jusque là on n'en verra pas.

M. Darrieus. — Est-ce que les ingénieurs du fond posent l'objection de la tenue des terres?

M. Mathivet. — Non, ils ne peuvent pas. Du reste, je vais vous expliquer encore autre chose.

Il arrive que pour les pompes souterraines de 300 ch — soit le moteur, soit la pompe, et plus souvent encore la conduite — se cassent. Ce jour-là on se dépêche de réparer la conduite, et personne n'attaque le service électrique. On reste comme cela deux, trois, quatre jours, et

il n'y a pas d'inconvénient car il y a des réservoirs souterrains ou albraques de 10 000, 20 000 m³, et nous avons des pompes qui peuvent rester cinq jours sans pomper.

Il faut avoir vécu 22 ans dans la mine comme j'ai vécu pour connaître ces choses-là et ne pas prendre au sérieux des objections souvent tendancieuses.

M. DARRIEUS. — Aux arguments mentionnés par M. RAUBER, notamment la mise en marche immédiate, il y a lieu d'ajouter l'avantage par rapport aux accumulateurs à vapeur, que la puissance maximum est disponible à tout instant.

M. RAUBER. — La première chose qu'on fait si l'on pompe, c'est d'arrêter la pompe. C'est un secours instantané.

M. DARRIEUS. — Les accumulateurs de vapeur voient leur pression de service baisser.

M. RAUBER. — L'accumulateur de vapeur n'agit que sur la chaufferie.

M. MATHIVET. — Je considère l'accumulateur de vapeur comme un expédient.

M. RAUBER. — La solution de l'accumulateur de vapeur a son utilité. Mais l'accumulateur hydraulique donne des économies qui intéressent toute la centrale. S'il était électrique il donnerait aussi une économie sur la distribution, mais on ne peut pas tout avoir.

M. DARRIEUS. — A quelle tension doit se faire la liaison?

M. RAUBER. — Ce sera à 150 000 ou 220 000 volts. Quant à la puissance, il suffit d'un réservoir un peu grand.

M. DARRIEUS. — Peut-on le faire sur un fleuve?

M. RAUBER. — Il faudrait un fleuve immense comme nous n'en avons pas en France.

Il y a une chose nécessaire, pour que l'installation ne soit pas trop chère. Il faut que l'emplacement soit convenable, car une installation hydraulique reste chère par elle-même. De tels emplacements ne sont pas tellement nombreux.

Il faut que le bassin soit étanche naturellement. Si on est obligé de cimenter le bassin, on peut augmenter beaucoup la dépense. Les Allemands ont des bassins cimentés. Nous, nous avons considéré des bassins non cimentés.

Il n'est pas certain que dans le cas des mines dont parlait M. MATHIVET on trouve toujours le réservoir qu'il faut. Il faut que le terrain soit favorable.

Je peux encore vous donner un chiffre. En faisant nos calculs de prix d'installation, nous avons trouvé que du fait des travaux hydrauliques il y avait un peu d'incertitude, plus que dans des travaux d'usines thermiques. Nous avons cherché de combien nous pouvions nous tromper pour que l'installation reste intéressante, nous avons trouvé 80 pour 100. Il n'y a pas de doute, le pompage est intéressant.

M. MATHIVET. — Je crois que si on l'avait fait plus tôt, c'est de l'argent qu'on récupérerait maintenant. Ces réservoirs, c'est de l'argent qui dort, c'est un chèque que l'on peut tirer à toute heure du jour ou de la nuit. Alors il aurait valu la peine que les générations qui nous ont précédé aient fait cette dépense, nous la récupérerions maintenant au centuple.

Qu'est-ce qui peut détruire cela? Rien du tout. Un bassin hydraulique peut durer 500 ou 600 ans!

M. RAUBER. — L'amortissement peut-être très long comme durée, donc les charges financières modérées.

Les travaux d'exécution des projets dont je viens de parler ne seront peut-être pas faits aussi vite qu'on aurait pu le souhaiter, en raison des dépenses à faire.

M. DARRIEUS. — Ces questions sont à l'ordre du jour. Nous avons constaté à Berlin combien elles retenaient l'attention des Allemands.

4e SECTION. — APPAREILLAGE. — TRACTION. CANALISATIONS.

Séance du 27 novembre 1930 (après-midi).

Cette Séance, commune avec la Société des Ingénieurs Civils de France, a été tenue sous la Présidence de M. J. Rey ancien Président de la Société Française des Electriciens et Président de la 6e Section des Ingénieurs Civils. MM. Michel, Van Lessen, et Bachellery y ont parlé respectivement de l'électrification des Chemin de fer allemands, des Chemins de fer néerlandais et des Chemins de fer du Midi de la France.

Ces trois conférences seront reproduites dans le Bulletin spécial consacré par les Ingénieurs Civils de France à la traction électrique.

Séance du 27 novembre 1930 (Soir).

Sommaire

Présidence de M. Daguerre.

Ingénieur en chef au Nord-Lumière.

M. Fallou résume son rapport sur *l'Etat actuel du problème de l'interconnexion des réseaux* (1).

M. Daguerre lit la note suivante de M. Mathivet :

(1) *Bulletin de la Société française des Électriciens*, 4e série, Tome X, n° 109, septembre 1930, p. 945.

Je voudrais joindre quelques observations aux règles générales que M. FALLOU a posées dans son étude sur l'interconnexion des réseaux.

Il est certain que, en France, nous nous acheminons peu à peu vers la constitution d'un réseau national unique, et que ce réseau national unique sera probablement à 220 000 V.

Il en résulte que la France toute entière va constituer comme une immense salle de machines dans laquelle se trouveront réunis les groupes électrogènes de tous les réseaux actuels.

Or, il est clair que ces groupes électrogènes ne pourront subsister dans la salle des machines commune, que s'ils satisfont à certaines conditions de puissance, de tension, de stabilité et d'économie.

De plus, dans les différents réseaux individuels, certaines précautions devront être prises pour qu'un réseau donné ne vienne pas jeter la perturbation dans les réseaux voisins.

a) *Groupes électrogènes*

J'estime que, dans la salle future générale des machines, tous les groupes hydrauliques de puissance inférieure à 5 000 kW devront être impitoyablement rejetés; il devra en être de même pour tous les groupes thermiques de puissance inférieure à 10 000 kW. De plus, il devrait rester entendu que, dans l'avenir, on ne devra plus installer sur le réseau national de groupe hydraulique inférieur à 10 000 kW et de groupe thermique inférieur à 25 000 kW.

Tous les groupes électrogènes à moteur à gaz devront être exclus, car, comme l'a montré M. EVAIN dans son rapport au Congrès de Bruxelles, ces groupes à moteur à gaz sont absolument inaptes à marcher en parallèle d'une manière convenable, avec les turbines à vapeur; ils sont dangereux, d'un réglage difficile, encombrants et finalement peu économiques.

b) *Réseau*

Le nombre des transformateurs à très haute tension se trouvant sur le réseau national devant être aussi réduit que possible, la tension générale de couplage devra être amenée peu à peu à 220 000 V pour toutes les lignes à 90 000 et 150 000 V; quant aux lignes à 45 000 V, elles devront disparaître le plus tôt possible.

Naturellement, le fil neutre de tous ces réseaux devra être mis à la terre et suivant des instructions rigoureusement établies par un Comité compétent.

De plus un certain nombre de compensateurs synchrones devraient

être installés en des points judicieusement choisis, tout en évitant de compromettre la stabilité du réseau par une valeur du cos φ trop voisine de l'unité.

M. E. Roth. — J'ai été très intéressé d'apprendre qu'aux États Unis on avait expérimenté avec un bon résultat le réglage dans une boucle par une tension en quadrature avec la tension du réseau. Ceci m'intéresse beaucoup, parce qu'il y a 7 ans déjà que ce dispositif a été proposé par M. Belfils et moi. Nous avions envisagé aussi bien le réglage par une machine synchrone que par des régulateurs d'induction ou par des transformateurs avec prises.

M. Fallou. — J'ai parlé de la machine synchrone parce qu'elle m'a paru originale.

M. E. Roth. — C'est la meilleure solution.

M. Rosebourne. — En Amérique, modifie-t-on le réglage des moteurs de façon à augmenter la stabilité ? En Allemagne, il y a, je crois, une tendance à le faire.

M. Fallou. — La question de l'excitation a été traitée ici, au moins théoriquement, avant qu'elle ne soit traitée pratiquement aux États-Unis. Nous avons discuté longuement à ce sujet, il y a plusieurs années et nous avons indiqué combien les génératrices shunts sont mal adaptées à l'excitation des grands turbo-alternateurs.

A l'heure actuelle, aux États-Unis, les usines hydrauliques destinées au transport d'énergie à grande distance sont munies de dispositifs d'excitation à réponse rapide, les circuits inducteurs étant calculés avec une faible constante de temps et l'ensemble étant muni de régulateurs de tension spéciaux.

Toutes les nouvelles installations réalisées depuis deux ou trois ans sont munies de ces appareils d'excitation, y compris un certain nombre d'alternateurs d'usines thermiques.

M. Benoit donne lecture de sa communication sur *l'Auto-équiréactance* (1).

M. Fallou. — Je voudrais faire quelques observations au sujet de

(1) *Bulletin de la Société française des Électriciens*, 4e série, Tome X, no 110, octobre 1930, p. 1096.

la communication de M. Benoit, d'abord en ce qui concerne la limitation des courants de court-circuit, et ensuite au sujet de la protection contre les ondes mobiles.

La bobine que propose M. Benoit est, somme toute, un transformateur étoile-étoile à flux libres dont le primaire est branché en série avec la ligne, et dont le secondaire est en court-circuit. On sait que l'impédance d'un tel transformateur est égale à sa réactance totale pour la composante résiduelle ou homopolaire des courants, et se réduit à sa réactance de fuites pour les composantes triphasées — directes et inverses — des courants. Il n'y a donc rien à dire au principe même du fonctionnement de ce transformateur.

Je voudrais indiquer en passant que l'on pourrait imaginer de même des systèmes qui présenteraient une impédance très élevée à l'égard de la composante inverse des courants, et une impédance très faible (réactance de fuites) à l'égard de la composante directe : on pourrait ainsi limiter non seulement les courants de court-circuit entre une phase et la terre, mais aussi les courants de court-circuit entre deux phases de l'installation Un tel système serait réalisé, par exemple, par un moteur asynchrone à cage d'écureuil très peu résistante, dont le stator serait branché en série avec la ligne; le rotor serait entraîné à la vitesse synchrone, mais en sens inverse du sens de rotation du champ tournant engendré par le stator. Pour la composante directe ou synchrone des courants, l'impédance de cette machine se réduirait à sa réactance de fuites, tandis que pour la composante inverse, elle serait égale à sa réactance totale. Mais en admettant même que cette idée soit nouvelle, il est évident que sa mise en œuvre se heurterait à des difficultés pratiques qui lui enlèvent tout intérêt, aussi je n'insiste pas davantage sur cette suggestion.

Pour en revenir au transformateur proposé par M. Benoit, j'ai peur que sa réalisation ne présente elle aussi de grandes difficultés qui lui fassent perdre une partie de son intérêt.

En effet, si l'on veut limiter efficacement les courants de court-circuit, il faut que la réactance totale du transformateur soit grande vis-à-vis de l'impédance du réseau. Par conséquent, au moment de la mise à la terre d'une phase, la colonne correspondante du transformateur devra supporter la totalité de la tension étoilée ou tout au moins une fraction très importante de cette tension; si l'on veut conserver dans ces conditions une impédance élevée, il faudra donc dimensionner le circuit magnétique de telle sorte qu'il ne se sature pas d'une manière excessive lorsqu'on applique aux bornes d'une phase la ten-

sion étoilée du réseau ; par ailleurs, les enroulements devront être évidemment calibrés de manière à pouvoir supporter en permanence le courant normal du feeder ou de la fraction de réseau protégé : en définitive, la bobine proposée aurait donc, tant au point de vue de son circuit magnétique que de celui de ses enroulements, les dimensions d'un transformateur dont la puissance serait très sensiblement égale à la puissance du feeder ou de la fraction du réseau protégée.

A quoi arrivera-t-on avec cet appareil? A augmenter la réactance homopolaire du réseau en mettant en œuvre un transformateur dont la puissance est voisine de la puissance traversante, et dont les enroulements doivent être complètement isolés pour la pleine tension par rapport au sol.

Or, on arrive exactement au même résultat par des procédés classiques bien moins onéreux, qui consistent, soit à insérer une simple bobine entre le neutre de l'installation et la terre, soit à installer en dérivation (entre phases et terre) des transformateurs couplés en zig-zag ou en étoile-triangle ; les enroulements de ces appareils ne supportent en période normale qu'un courant nul ou négligeable et doivent être seulement calibrés pour supporter pendant un temps très court la composante résiduelle des courants de court-circuit.

En ce qui concerne la protection contre les surtensions, je souhaite de me tromper, mais je ne crois guère à l'efficacité d'un pareil transformateur ; c'est qu'en effet, pour les hautes fréquences ou pour les ondes apériodiques à front très court contre lesquels on cherche à se prémunir, la self inductance de la bobine se réduira de toute manière à une self inductance de fuites. Étant données les épaisseurs des tôles que l'on peut pratiquement employer, le flux magnétique ne pénètre pas dans le noyau, et ce dernier se comporte comme une pièce massive ou un enroulement en court-circuit. En fait, l'expérience prouve bien qu'en introduisant un noyau magnétique, même feuilleté, dans une bobine dite de protection, l'action de ce noyau est pratiquement nulle.

M. Benoit. — Les critiques de M. Fallou sont parfaitement justifiées en général et cependant, je voudrais attirer l'attention sur les points suivants :

En ce qui concerne les dimensions du transformateur constituant la réactance de l'autoéquréactance, il est clair que le cuivre serait, toutes choses égales d'ailleurs, de même section que pour un transformateur ordinaire ; mais pour le fer, il n'en serait plus de même ; en effet, deux cas sont à examiner.

Dans le premier cas (régime normal et secondaire en court-circuit), la

tension appliquée aux bornes de l'appareil n'est qu'une fraction très faible (quelques pour cent) de la tension du réseau et les conditions d'échauffement et de rendement conduisent à des dimensions très faibles.

Dans le deuxième cas (régime accidentel et secondaire ouvert), la tension appliquée ne le sera jamais longtemps et les conditions d'échauffement et de rendement prennent une détermination tout autre, permettant l'établissement d'une *induction très élevée* dans le circuit magnétique, étant entendu que celui-ci serait constitué par des tôles spéciales prévues à cet effet.

D'autre part la tension appliquée serait toujours inférieure à celle du réseau, le rapport de ces tensions étant d'ailleurs fonction des impédances (jamais négligeables) situées en amont de l'appareil et de la valeur à laquelle on limiterait le courant de court-circuit.

Evidemment il n'y aurait là que des cas d'espèce dont l'étude devrait être faite *dans chaque cas particulier*, mais qui, comme je l'ai indiqué plus haut, ne conduirait pas à des encombrements ni à des dépenses exagérées par rapport au but cherché.

Je rappellerai à ce sujet que bien des exploitants ont inséré dans leurs distributions des transformateurs (souvent au rapport unité) dont le seul but était d'assurer une diminution de l'importance du courant de court-circuit susceptible d'affecter toute une installation située en aval.

Il est certain qu'une autoéquiréactance aurait donné dans ce cas de bien meilleurs résultats techniques et économiques.

Quant à l'objection relative aux dispositifs de protection contre les ondes mobiles, s'il est certain et prouvé que les ondes à très hautes fréquences ne peuvent engendrer dans les circuits magnétiques ordinaires que de très faibles flux, il y a tout lieu de croire que, grâce aux progrès réalisés ces dernières années dans la composition, le laminage et le fractionnement des circuits magnétiques à fréquence élevée, il serait possible d'obvier à cet inconvénient et cela d'autant plus facilement que les fréquences fondamentales des développements en série de Fourier des ondes vagabondes (en général très amorties), sont beaucoup moins élevées que celles réalisées dans les laboratoires où l'on ne peut que plus ou moins bien reconstituer les phénomènes transitoires résultant des perturbations atmosphériques.

Là encore des expériences faites par des exploitants donneraient sans doute des résultats qu'il est difficile de prévoir quantitativement mais dont la valeur qualitative n'est pas douteuse, ainsi que l'a montré le calcul présenté.

Il résulte de là que des études et des expériences appliquée à des *cas concrets* seraient seules susceptibles de mettre en évidence les avantages que l'on pourrait retirer des divers appareils proposés, et j'ajoute que j'étudierais ces cas bien volontiers.

M. Ledoux donne lecture de son *rapport sur la protection des installations à basse tension contre la foudre* (1).

M. Dauzère rappelle les conclusions de sa communication de juin 1929.

M. Saint-Germain. — La communication de M. Ledoux est très intéressante et je suis d'accord avec lui sur presque tous les points.

Toutefois, je crois devoir attirer votre attention sur ce qu'il n'y a pas lieu de trop compter sur les parafoudres pour se croire à l'abri de tout danger, car quelle que soit la sensibilité de l'appareil employé, s'il comporte des éclateurs, et c'est le cas de l'appareil préconisé par M. Ledoux, ces éclateurs ne s'amorceront qu'à une certaine tension, encore assez élevée, et au bout d'un certain temps.

Il laisse donc toujours passer des ondes de tension encore dangereuses et parfaitement capables de foudroyer.

A notre avis, le procédé le plus efficace sera toujours de protéger la ligne par des cages de Faraday, tout au moins dans des régions d'orages fréquents.

M. Daguerre. — Les constructeurs ont été émus des accidents survenus en Corrèze, dont vous avez tous conservé le souvenir.

Pour les réseaux, nous avons décidé de faire des expériences à certains points assez rapprochés, et, malgré la mauvaise résistance des terres ; M. Dauzère a fait plus de 500 expériences.

En ce qui concerne les lignes à tensions différentes posées sur le même poteau, beaucoup d'exploitants y ont renoncé à cause des accidents que M. Ledoux a signalés, et je crois que si certains exploitants en ont encore, ils pourraient employer un moyen moins cher, les bobines à écoulement statique, qui pourraient, je crois, donner des résultats. Evidemment, c'est un problème très angoissant, il faut encore chercher.

Pour le moment, on emploie des bobines de self inductance dont j'ai toujours eu un peu peur, car elles créent des surtensions et des amorçages dangereux.

---

(1) *Bulletin de la Société française des Electriciens.*

M. Teszner. — Tout le monde semble d'accord sur la nécessité de la protection des réseaux et installations à basse tension. Malheureusement, il faut également convenir, avec M. Saint-Germain, qu'il n'existe pas à l'heure actuelle de parafoudre à basse tension susceptible de donner satisfaction.

En effet, les parafoudres même les plus sensibles, mais qui sont aussi capables de se désamorcer, c'est-à-dire d'assurer l'extinction de l'arc de décharge après le passage de la surtension, n'entrent en action qu'à 3 ou 4000 V au minimum, donc à une tension beaucoup trop élevée pour qu'on puisse parler d'une protection effective d'une installation à 120-220 ou 380 V.

M. Ledoux nous a présenté ici un appareil, qui réalise un schéma assez compliqué, mais néanmoins n'échappe pas au défaut commun aux autres dispositifs. Effectivement, quelle que soit la sensibilité du parafoudre placé à l'extérieur, étant donné qu'il est capable, d'après M. Ledoux, d'assurer l'extinction de l'arc de décharge, il sera obligatoirement réglé assez haut et s'amorcerait toujours plus tard que le protecteur d'intérieur. En réalité, c'est ce dernier qui fonctionnera dans la généralité des cas, surtout s'il est réglé pour une tension très basse, de l'ordre de 500 V, en mettant de par son fonctionnement l'installation à la terre, en faisant fondre le fusible, en tout cas en privant l'abonné de courant.

Or, s'il est très bien de protéger l'abonné, encore ne faut-il pas lui enlever le courant à chaque fonctionnement de l'appareil de protection. Il faut, en conséquence, chercher autre chose et réaliser un dispositif qui, tout en assurant, sous l'effet d'une surtension, une mise à la terre aussi franche que possible de l'installation et, par là, une protection efficace de celle-ci, se désamorce dès la disparition de la surtension et, malgré cela, entre en action pour une tension très basse, de l'ordre de 500 V.

Le problème nous a été posé aux Etablissements Merlin et Gerin par divers exploitants, à maintes reprises. Après d'assez longues recherches, je crois actuellement avoir trouvé un dispositif susceptible de donner satisfaction, du moins les essais au Laboratoire semblent l'indiquer, car ils sont très concluants. Il est bien entendu d'ailleurs, et je tiens à le souligner, qu'on ne pourra se faire une opinion définitive sur cet appareil avant de l'avoir expérimenté pendant longtemps en service, étant donné que seule l'expérience d'exploitation est le dernier critère dans cette matière.

Dès maintenant, cependant, vu les résultats d'expérience au labora-

toire, qui, je le répète, ont été très encourageants, je me permettrai de vous exposer les grandes lignes du principe et de la réalisation de cet appareil, au cours d'une séance ultérieure de section.

M. Ledoux. — J'insiste à nouveau sur ce fait que, dans la protection d'un réseau à basse tension contre la foudre, ce n'est ni la tension d'amorçage des parafoudres ni leur sensibilité qui ont le plus d'importance, car leur tension d'amorçage a toujours une valeur dangereuse pour l'usager. Ce qui compte essentiellement dans la propagation de la foudre, c'est l'impédance d'onde des circuits qui peuvent être constitués, soit par des conducteurs métalliques, soit par de l'air ionisé comme c'est le cas dans l'éclair ou dans les étincelles qui s'amorcent dans les installations.

On a constaté qu'un conducteur de paratonnerre, interrompu même par un intervalle de plusieurs centimètres, se comporte comme s'il était parfaitement continu. L'intervalle du parafoudre est négligeable du moment que la dérivation dans laquelle il est inséré a une impédance d'onde faible et décroissant si possible dans le sens de la propagation. C'est l'observation de très nombreux accidents provoqués par la foudre dans la Corrèze qui m'a montré l'importance primordiale des questions d'impédance d'onde dans la propagation de la foudre. Je possède un certain nombre de photographies d'installations intérieures dont l'isolement général n'est presque pas diminué et dans lesquelles des amorçages se sont produits à des distances considérables, l'étincelle prolongeant le trajet des conducteurs vers la terre.

Tout parafoudre, même pas très sensible, est donc satisfaisant pour la protection contre la foudre. Mais il ne l'est pas forcément au point de vue exploitation. Il est évident que, pour satisfaire l'exploitant, il doit posséder d'autres qualités, en particulier un pouvoir d'extinction bien assuré.

La sensibilité des parafoudres n'intervient que dans le cas où l'on a affaire à des tensions non instantanées à basse fréquence, comme c'est le cas lorsqu'une communication se produit entre la haute et la basse tension.

Tout à l'heure M. Daguerre a fait une objection au sujet des lignes mixtes. Elles sont dangereuses non en raison des phénomènes d'induction, qui sont négligeables, mais à cause des risques dus à la chute d'un fil à haute tension sur la ligne à basse tension. A l'heure actuelle on ne construit à peu près plus de lignes mixtes mais il en existe encore beaucoup.

Les transformateurs sont quelquefois avariés, — par la foudre ou pour toute autre raison, — et il se produit, à l'intérieur du transformateur, une dérivation entre les enroulements. Le fait n'est pas très fréquent, mais il se produit. Toutes les considérations que j'ai développées au point de vue de la sensibilité des parafoudres et des protecteurs J. D. L. de branchement et d'abonnés s'appliquent à ce cas et non pas à la foudre. Cependant, il est très intéressant, pour la foudre, de disposer sur les réseaux d'appareils de protection dont la sensibilité aille en croissant des lignes vers l'abonné, afin de réduire le plus possible les tensions résiduelles (1).

M. Daguerre. — Cette question est de première importance.

M. A. Roth. — Est-ce que les accidents de la Corrèze étaient dus à la foudre même ?

M. Ledoux. — Ils sont effectivement dus à la foudre et se sont presque tous produits au cours du même orage (7 août 1929). Quant aux accidents d'Arandon que j'ai rappelés également, ils sont dus à des contacts entre les installations à haute et basse tension.

M. Kopeliovitch. — Le principe de la protection des installations à basse tension contre la foudre, exposé par M. Ledoux, est sans aucun doute juste, sa réalisation cependant est pratiquement impossible et ceci pour les raisons suivantes : il n'est pas difficile de construire un parafoudre pour les tensions de 500 volts et en dessous ayant la propriété désirée d'interrompre le courant dû à la tension de service, qui suit le courant de décharge provoqué par la surtension. On pourrait même réaliser des appareils de ce genre ayant une impédance caractéristique très réduite. Le retard d'éclatement des parafoudres pourrait également être réduit, à tel point que le danger d'une électrocution dû à ce phénomène serait tout à fait éliminé. Mais le problème ne peut pas être résolu uniquement avec ces appareils : il importe avant tout d'avoir des prises de terre excellentes à proximité du parafoudre. En effet, si l'on admet une résistance de terre de 5 ohms seulement, ce qui représente une très bonne mise à la terre, et un courant provoqué par la foudre de 1000 A seulement (les mesures récentes faites en

(1) Les considérations développées par M. Ledoux dans son rapport et dans cette réplique ont été reprises par lui dans un article intitulé « La protection des distributions d'énergie électrique à basse tension contre la foudre et les communications entre les installations à haute et à basse tension », qui traite complètement la question et a paru dans la *Revue Générale de l'Electricité*.

Amérique montrent que ce courant peut dépasser 100 000 A), on obtient sur la prise de terre une chute de tension de 5000 V. Cette tension suffit évidemment pour provoquer une électrocution malgré la présence du parafoudre. Or, la réalisation d'une prise de terre à résistance plus faible est pratiquement impossible ou, en tout cas, excessivement coûteuse. Le problème de la protection contre la foudre des réseaux à basse tension est très difficile, sinon impossible à résoudre rationnellement. Il est d'ailleurs aussi important que le problème analogue dans les réseaux à haute tension.

M. A. ROTH donne lecture de son rapport sur *les tendances actuelles dans la construction et l'utilisation des interrupteurs à haute tension* (1).

M. DAGUERRE. — Quels résultats ont donné, jusqu'ici, les recherches faites en vue de remplacer l'huile dans les interrupteurs par un gaz inerte?

M. A. ROTH. — L'interrupteur à air « Deion » possède un système de plaques en cuivre placées au-dessus d'une cheminée que l'on pourrait comparer à une cheminée de disjoncteur ultra-rapide avec deux électrodes en forme de V. L'arc se forme au bas du V, monte et arrive dans le système de plaques mentionné. Là, il tombe sous l'influence d'un champ extrêmement fort qui le fait tourner avec une vitesse très grande autour d'un noyau. Le phénomène est très intéressant, la vitesse étant tellement grande que les électrodes n'arrivent même pas à chauffer. J'ai eu l'occasion de voir des plaques qui portaient encore les traces des arcs; leur température ne pouvait pas avoir dépassé 400° C, si l'on en juge à la teinte qu'elles présentaient.

Cet interrupteur « Deion » a été essayé dans le réseau à haute tension de Chicago à 12 000 V, et a donné des résultats très intéressants. Il y a maintenant, si je me souviens bien des publications qui ont été faites, une série de 10 appareils en service (service d'essai bien entendu).

Un interrupteur d'un autre type est installé en 18 exemplaires sur le réseau de la Pensylvania-Railway à 15 000 V. C'est un interrupteur que je voudrais comparer à deux ultra-rapides très grands en série, de 5 mètres de longueur et 4 m de hauteur environ. Il travaille exactement d'après le principe de l'ultra-rapide à courant continu.

(1) *Bulletin de la Société française des Électriciens*, 4e série, Tome X, n° 110, octobre 1930, p. 1030.

Il y a aussi l'interrupteur de l'A.E.G. qui ressemble à l'interrupteur à air que j'ai montré et qui travaille à haute pression, sous 15 atmosphères.

L'interrupteur de Siemens travaille avec de l'eau ou avec de l'eau additionnée de quelque ingrédient. Cet interrupteur comporte, pour 15 000 V, trois petits pots, comparables à des chambres d'explosion, avec des ouvertures; il possède 3 tiges qui sortent par ces ouvertures. L'interrupteur a l'avantage de travailler avec de l'eau, c'est-à-dire un liquide non inflammable et de produire sa pression lui-même, tandis que les autres interrupteurs ont besoin d'un dispositif extérieur pour produire la pression. Par contre, cet appareil produit une pression très élevée. Si j'ai bien interprété le travail de M. Kesselring, il développe au moins 50 at, ce qui pourrait donner lieu à des inconvénients.

Il existe des interrupteurs essayés en Californie, formés de tubes à vide analogues aux redresseurs à mercure et comme eux construits en verre. Ils semblaient donner des résultats intéressants, les oscillogrammes publiés autorisaient tous les espoirs. Néanmoins, on n'a plus entendu parler de ces appareils depuis deux ou trois ans. Je n'en connais pas les raisons.

Pour résumer, cinq ou six maisons étudient des réalisations de l'interrupteur à haute tension sans huile. Je crois qu'une ou deux ont commencé à en offrir certains modèles à leur clientèle.

Mon opinion personnelle se résume ainsi : la situation n'est quand même pas telle qu'il faille aujourd'hui déjà abandonner les interrupteurs dans l'huile. Si j'étais exploitant, j'installerais un des nouveaux appareils dans un endroit où je pourrais me permettre de faire des essais; mais il ne serait pas raisonnable d'abandonner aujourd'hui un appareil parvenu à la perfection des interrupteurs dans l'huile. Cet appareil est le résultat d'un très long développement et il est fixé aujourd'hui sur des essais que j'ose appeler scientifiques. Il donne des résultats qui en font indiscutablement un instrument plus sûr qu'aucun nouvel appareil sortant des laboratoires et dont la mise au point reste à faire.

Ceci disant, je ne voudrais pas déprécier le travail fourni par les maisons qui ont conçu ces appareils. J'admire au contraire les efforts fournis de tous côtés dans la recherche de solutions nouvelles.

Contrairement à la construction des moteurs, où l'on ne peut plus réaliser que de tout petits progrès, on assiste pour les interrupteurs à l'introduction de procédés complètement nouveaux et cela rappelle l'âge des grandes inventions dans le domaine des machines tournantes.

M. VEAUX. — M. ROTH nous a dit, au début de son rapport, en parlant de la façon d'estimer l'intensité et la tension dans le pouvoir de coupure d'un interrupteur à huile, que certains règlements *autorisaient* à ne pas tenir compte de la diminution de la tension induite, du fait de la réaction d'induit des alternateurs.

Ce mot « autorisaient » me paraît tendancieux et je le rapproche de certains dires de vendeurs d'interrupteurs à huile d'après lesquels les kVA américains seraient inférieurs aux kVA suisses. Ces mêmes vendeurs précisent même que la différence entre les kVA suisses et les kVA américains est de 20 pour cent.

Cette affirmation semble basée sur ce que les règles américaines ne donnent pas de précisions quant à la valeur de la tension à considérer dans le pouvoir de coupure et que les maisons américaines conseillent à leurs clients pour la plupart, par mesure de prudence, de ne pas admettre, dans le calcul du pouvoir de coupure à choisir pour un interrupteur, que la tension aux bornes de l'interrupteur à la fin de la coupure, puisse être inférieure à la tension du réseau, alors que certains constructeurs européens, se basant sur les définitions suisses du pouvoir de coupure, conseillent d'admettre, en général, une tension de 20 pour cent inférieure.

L'affirmation des vendeurs en question est donc tout à fait inexacte, puisque, loin de donner des garanties inférieures, la coutume américaine conduit à un coefficient de sécurité plus élevé.

M. ROTH ajoute également, un peu plus loin, qu'il devrait être également *interdit* de comprendre la composante courant continu dans le calcul du pouvoir de coupure d'un interrupteur. Là aussi, le mot « interdit » me paraît tendancieux. Nous sommes bien d'accord avec M. ROTH sur ce qu'il est inutile, en effet, dans la définition du pouvoir de coupure, de tenir compte de la composante continue; c'est là une question de conventions : mais en tout état de cause, l'exploitant qui tiendra compte de la composante continue, choisira un interrupteur qui lui donnera un coefficient de sécurité plus grand que l'exploitant qui n'en tiendra pas compte.

M. ROTH a parlé aussi du facteur de sécurité. A notre point de vue, il n'y a pas là de question posée; une garantie est une garantie. Il est évident qu'un constructeur qui base sa garantie sur des essais, doit prendre un coefficient de sécurité qui tient compte des différences qui peuvent se présenter entre les essais qu'il a faits et ce qui peut se passer sur un réseau, et aussi des différences de fabrication qui peuvent exister d'un appareil à un autre.

Il est évident aussi que l'exploitant doit tenir compte dans ses calculs, par un coefficient de sécurité judicieux, des conditions de coupure les plus défavorables qui peuvent se présenter sur son réseau.

M. Roth parle aussi des pots d'explosion et fait remarquer que leur application commence à devenir rare pour des puissances inférieures à 200 000 kVA. Ceci est très exact et pour ce qui nous concerne, nous n'avons jamais imaginé que les pots d'explosion pouvaient avoir un certain intérêt pour des puissances aussi faibles. Toutefois, nous tenons à affirmer de nouveau les qualités exceptionnelles du pot d'explosion pour les fortes puissances et pour les très hautes tensions. En particulier, pour le nouveau problème relatif à la stabilité des réseaux, le pot d'explosion s'est révélé comme un des meilleurs procédés pour obtenir une coupure extrêmement rapide. A ce point de vue, nous désirons également attirer l'attention sur ce que la coupure multiple, qui est également un moyen que nous ne voudrions pas contester pour résoudre le même problème, ne diminue pas la durée de l'arc proportionnellement au nombre de coupures, car si avec ce procédé on allonge bien l'arc proportionnellement au nombre de coupures, la tension de rétablissement ne varie pas avec la longueur de l'arc, à cause de l'inégale répartition de la tension dans les coupures.

M. A. Roth. — En ce qui concerne vos remarques au point de vue du pouvoir de rupture, je crois être d'accord d'abord avec la Commission Internationale qui a adopté dès maintenant la réglementation européenne et avec la plupart des constructeurs et exploitants américains.

J'ai eu le plaisir, à la suite de suggestions d'un exploitant américain, de voir plusieurs maisons qui sont tombées complètement d'accord avec moi.

La formule américaine vous autorise à appeler puissance une puissance qui en réalité est une puissance. Je vous ai donné l'exemple en chiffres.

(Lecture de la formule).

Beaucoup de personnes procèdent d'une façon différente, pour définir le pouvoir de rupture elles ne tiennent pas compte des diminutions de l'intensité et de la tension.

Si la tension tombe de 12 000 à 3 000 V, les règlements américains vous autorisent à dire que vous avez coupé 12 000 V.

M. Veaux. — Lorsque les Américains disent :

Nous garantissons que tel appareil peut couper tant d'ampères sous tant de volts, ils admettent que la tension de rétablissement peut être

égale à la tension nominale; leur garantie est donc valable pour toute tension de rétablissement inférieure ou égale à la tension indiquée.

M. Roth. — Admettons que vous ayez un interrupteur que vous donnez pour 5 000 A et 10 000 V, ceci veut évidemment dire que c'est après que les 5 000 A sont coupés que les 10 000 V le sont. Il n'y a aucun malentendu possible.

Seulement, si je fais un essai d'après la réglementation américaine, je peux faire cet essai avec un alternateur qui commence avec une tension, qui correspond à la force électromotrice. Je peux faire mon essai qui correspond à une tension de 20 000 V et qui au moment de la rupture a 10 000 V.

M. Veaux. — Je ne crois pas que les Américains, lorsqu'il s'agit de déterminer le pouvoir de coupure à garantir pour un appareil, aient jamais interprété les essais de cette façon. Nous, nous ne l'avons jamais fait. Nous tenons toujours compte de ce que la tension de rétablissement peut, en service normal, être égale à la tension normale du réseau et nous prenons, au contraire, sur des résultats observés aux essais de très larges coefficients de sécurité.

Les Américains font, je crois exactement comme cela.

M. Roth. — Je ne crois pas que ce soit très utile de prolonger la discussion. Il y a aujourd'hui une définition absolument claire, si vous en doutez vous n'avez qu'à prendre n'importe quel auteur américain, vous trouverez tout de suite que le calcul a été fait comme je vous l'ai dit. Vous pouvez prendre n'importe quelle publication, vous verrez qu'ils ont toujours calculé conformément à la réglementation.

Je voudrais justement défendre la définition qui a été faite à Stockholm, je ne voudrais pas la critiquer.

M. Veaux. — Quand un constructeur Américain dit qu'un interrupteur peut couper tant d'ampères sous tant de volts, il ne sait pas à qui il vendra son appareil ni où sera placé cet appareil. Il peut se faire qu'à l'endroit où sera placé l'interrupteur, la réaction d'induit des machines génératrices ne se fasse pas sentir et la tension de rétablissement à cet endroit sera évidemment presque égale à la tension normale de service.

Les constructeurs américains sont donc bien obligés de tenir compte de ce cas particulier dans la détermination du pouvoir de coupure des appareils.

M. Roth. — Nous sommes d'accord, seulement ce n'est pas moi qui ai fait le règlement américain.

M. Fallou. — Effectivement on a publié des essais où les américains faisaient couper X ampères sous X volts, et X volts étaient relevés sur les oscillogrammes.

La puissance de la définition, quelle qu'elle soit, ne vaut rien en elle-même.

M. Roth. — En ce qui concerne l'asymétrie, je suis d'accord avec la définition donnée à Stockholm. La C. E. I. défend de faire les essais avec les intensités qui comportent une asymétrie qui dépasse 30 pour cent. C'est mon point de vue, il a été accepté aussi par les Américains.

M. Darrieus. — Je voudrais ajouter une remarque, en me défendant d'affaiblir les conclusions de M. Roth, dont la communication très claire fixe un certain nombre de points bien établis que nous avons nous-mêmes défendus. Il a rappelé en particulier qu'on pouvait calculer avec une certaine confiance les résultats que donnent les essais des constructeurs et fait justice de cette assertion, émise il y a peu d'années dans certains travaux anglais, d'après lesquels l'excessive dispersion des résultats pouvait laisser craindre que, même après cent coupures heureuses, la 10[e] ne fut désastreuse.

Cette dispersion extrême paraît exceptionnelle et due seulement à une disproportion entre la puissance des interrupteurs et celle disponible pour leur essai.

Pour les puissances dont disposent aujourd'hui les constructeurs, la dispersion paraît être de l'ordre qu'indiquait M. Roth, mettons 15 pour cent.

En ce qui concerne le coefficient de sécurité à prévoir par le constructeur, nous craindrions seulement que ce que souhaite M. Roth fut fâcheusement interprété par certains exploitants qui pourraient tabler imprudemment sur un coefficient de sécurité implicitement prévu par le constructeur.

Sans doute cette marge existera toujours chez un constructeur sérieux, grâce notamment, à ce que les conditions d'essais s'y trouvent en général plus sévères que dans les réseaux, par exemple du fait de la capacité qui s'exerce en faveur de l'interrupteur dans l'installation définitive.

Mais il ne faudrait pas que cette marge de sécurité, qui relève de la conscience du constructeur, fut le moins du monde escomptée par l'exploitant, à qui il revient de calculer ses courants de court-circuit et de se ménager la marge qu'il considère comme sûre.

Si vous me permettez un mot sur le différend qui vient de surgir, je rappellerai que la définition de la C.E.I. n'a été admise qu'après de longues discussions, comme seule logique. La définition américaine est la première en date, elle escomptait des phénomènes qui ne se sont pas vérifiés, il serait dangereux de l'appliquer, surtout unilatéralement.

La définition de la C. E. I. a une signification physique; elle s'applique également dans le calcul du court-circuit et dans l'appréciation de l'interrupteur, tandis qu'il sera toujours dangereux de faire une différence entre les deux.

Pour prendre un exemple, l'influence de la composante continue est, croyons-nous, favorable à l'interrupteur.

M. Roth. — Elle peut l'être.

M. Darrieus. — Elle le sera souvent, en tous cas ce serait une faute d'en tenir compte, parce qu'on peut courir le risque de le faire dans l'interprétation de l'essai et de l'oublier dans le calcul du court-circuit.

M. Kopeliovitch qui était présent à la séance a envoyé la note suivante :

Je voudrais faire quelques remarques au sujet de la discussion sur les définitions du pouvoir de rupture des interrupteurs dans l'huile et surtout sur la façon d'interpréter les oscillogrammes relevés pendant les essais. Tout d'abord je soulignerai encore une fois, que la différence entre les kVA indiqués en Suisse et les kVA indiqués par les Américains existe et existera aussi longtemps que la méthode d'interprétation des oscillogrammes *relevés au cours d'essais* ne sera pas normalisée internationalement. Il ne s'agit que de cela, puisqu'en

fixant cette méthode, on fixera en même temps la définition du pouvoir de rupture. La question a perdu de son acuité depuis que la Commission Internationale Electrotechnique a admis, en été 1930 à Stockholm, la formule suivante.

1. — Comme *courant de rupture* on prendra la valeur efficace de *la composante alternative* du courant de court-circuit au moment de l'ouverture des contacts.

2. — Comme *tension de rupture* on prendra la valeur efficace de la tension rétablie après l'extinction des arcs.

Ces définitions sont claires en soi, il ne reste plus qu'à fixer la méthode de mesure de ces grandeurs sur les oscillogrammes. Avec un peu de bonne volonté on évitera alors facilement les conclusions fâcheuses, qui se rencontrent dans la documentation à présent. Ainsi, dans le n° 84, vol. XIV, 1930, p. 499-504 du *World Power* sont publiés les oscillogrammes relevés en Amérique dans une station d'essais à grande puissance (p. 503). Les chiffres déduits de l'une de ces prises (n° 30) sont indiqués comme suit (1) :

Tension d'essai 14,5 kV, courant de rupture	Phase A =	15 900 A
	B =	20 000 »
	C =	18 600 »

Puissance de rupture (tableau p. 500) : 456 000 kVA.

Il n'est pas mentionné dans l'article en question si le calcul de cette puissance a été fait avec la tension rétablie. En étudiant attentivement le tableau de chiffres de la p 500, j'arrive à la conclusion que ce n'est pas le cas, puisque la tension de 14,5 kV est indiquée dans celui-ci pour plusieurs essais présentant des durées totales de court-circuit variant entre 20 et 51 alternances. L'amortissement de la tension étant fonction de cette durée, il n'est pas possible que la tension rétablie soit dans tous les cas la même. Ceci étant, on déduit des oscillogrammes publiés que la tension de rupture n'est que 8/11 de la tension avant court-circuit, c'est-à-dire 10,5 kV au lieu de 14,5 kV.

Les deux courants B et C présentent une asymétrie notable au moment de l'ouverture des contacts, tandis que le courant A est symétrique. Les différences entre les valeurs indiquées pour les 3 courants ne peuvent s'expliquer que par le calcul des intensités d'après les règles anglaises ou américaines, qui tiennent compte de la composante expo-

(1) L'oscillogramme se rapportant à l'essai n° 30 est probablement par erreur d'impression indiqué sous n° 29. On arrive à cette conclusion en considérant la durée de court-circuit indiquée dans les légendes se rapportant à ces figures.

nentielle du courant. L'intensité de rupture serait donc de l'ordre de 15 900 A (courant symétrique de la phase A), si l'on se servait de la définition admise par la C. E. I. à Stockholm.

En calculant la puissance de rupture avec les chiffres ci-dessus, j'obtiens donc

$$\sqrt{3}.15\,900.10,5 = 290\,000 \text{ kVA}$$

au lieu de 456 000 kVA indiqués dans l'article mentionné. Ainsi la différence entre les deux valeurs est de 57 pour cent. Cette différence peut, selon l'essai, être encore plus grande, comme je l'ai montré dans un article précédent (R. G. E. 1928, t. XXIV, p. 625).

Par cette remarque, je voudrais attirer l'attention sur les diverses façons d'interpréter les essais qui, contrairement à l'affirmation de M. Veaux et malgré la décision de la C. E. I. sont aujourd'hui encore en usage dans certains pays.

Séance du samedi 28 novembre 1930.

6e SECTION. — RECHERCHES PHYSIQUES. ELECTROPHYSIOLOGIE. — APPAREILS DE MESURE

Sommaire.

Présidence de M. Cellerier

Directeur du Laboratoire d'Essais du Conservatoire National des Arts et Métiers.

M. Brylinski présente son rapport sur *Les unités Magnétiques* (1) et ajoute :

De l'exposé qui précède il résulte que l'œuvre qui vient d'être accomplie par la C.E.I. est sans doute la meilleure qui pût être réalisée dans les circonstances présentes. Mais on n'en saurait conclure que tout soit pour le mieux en ce qui concerne les unités de mesure en général.

(1) *Bulletin de la Société Française des Electriciens*, 5e série, Tome I, n° 1, janvier 1931, p. 61.

Si l'on examine ce que l'on est convenu d'appeler le système français d'unités de mesure, on constate que ce système consiste en réalité en la juxtaposition de trois systèmes différents, non cohérents entre eux, et n'ayant en commun que l'unité de temps, la *seconde*.

Le système légal d'unités mécaniques est le système *mètre*, *tonne* dont l'unité d'énergie est le *kilojoule*.

Le système légal d'unités électriques est le système électromagnétique *ampère*, *volt*, dont l'unité d'énergie est le *joule*, et dont les unités de longueur et de masse valent respectivement 10^7 mètres et 10^{-17} tonnes.

Enfin le système d'unités magnétiques adopté par le Congrès de Paris (1881) est le système électromagnétique C.G.S. dont les unités de longueur, de masse et d'énergie sont le *centimètre*, le *gramme* et l'*erg*, qui valent respectivement 10^{-2} mètres, 10^{-6} tonnes et 10^{-7} joules.

Il serait, à mon sens, hautement désirable d'établir un système cohérent d'unités mécaniques, électriques et magnétiques. Il existe déjà, à vrai dire, un semblable système, c'est précisément le système électromagnétique C.G.S. Malheureusement un grand nombre d'unités de ce système sont tellement petites qu'il n'a pu être employé dans la pratique ni pour les unités électriques, pour lesquelles il a fallu créer dès 1881 le système pratique *ampère*, *volt*, ni pour les unités mécaniques pour lesquelles on a reconnu en 1919 la nécessité de légaliser le système *mètre*, *tonne*. On ne saurait donc songer à tenter d'obtenir la généralisation du système C.G.S. dans la pratique.

On ne saurait davantage songer à tenter l'application du système pratique aux unités mécaniques en raison, notamment, de l'extrême incommodité de ses unités de longueur et de masse. Nous avons vu d'ailleurs, qu'aucun des systèmes exopratiques ne donne satisfaction. Il faudra donc, pour obtenir la cohérence, se résigner à modifier le système d'unités électriques ; ce que l'on est en droit de demander, c'est que les modifications apportées soient aussi commodes et en nombre aussi restreint que possible.

Le système *mètre*, *tonne* est très convenable pour les unités mécaniques. Le *mètre* est l'unité normale de longueur, non seulement parce que sa valeur est bien celle qui s'adapte le mieux aux longueurs usuelles, mais encore parce que c'est à ce nom que s'adaptent les divers préfixes qui permettent d'obtenir des unités secondaires de diverses valeurs s'adaptant à tous les besoins. L'emploi de la *tonne* en résulte nécessairement pour l'unité de masse dès lors qu'on veut continuer à prendre la densité de l'eau comme unité de densité.

Dans ces conditions, une unité reste arbitraire dans le groupe des unités électriques, du fait qu'on renonce au caractère électromagnétique de ce groupe. Cette unité choisie, toutes les autres en découleront, puisque le *kilojoule* est l'unité d'énergie, et les valeurs des unités magnétiques s'ensuivront. Ce sont ces dernières, comme le montrent aisément quelques tâtonnements, qui limiteront étroitement le choix. Il y a, d'ailleurs, un intérêt évident à choisir une des unités pratiques existantes, afin de limiter les modifications au strict minimum.

Or, il n'est pas possible de maintenir l'*ohm*, puisque la nouvelle unité d'intensité de courant aurait pour valeur $\sqrt{10}$ U.E.M.C.G.S.

Il n'est pas non plus désirable de maintenir l'*ampère*, qui donnerait des unités de résistance électrique, de self inductance, de flux d'induction magnétique, d'induction magnétique et de perméabilité magnétique trop grandes.

Conservons donc le *volt* et, pour simplifier le langage, distinguons au moins provisoirement, les nouvelles unités proposées par le préfixe *né*, conformément à une suggestion présentée autrefois par M. A. Blondel. Convenons, en outre, de donner des noms aux préfixes destinés à signifier 10^9 et 10^{-9}, et adoptons provisoirement à cet effet les mots *hyper* et *hypo* qui figurent au nombre de ceux proposés par M. A. Blondel. La liste des nouvelles unités électriques et magnétiques sera dès lors la suivante :

néjoule	= 1 kilojoule	= 10^{10}	U.E.M.C.G.S.
néwatt	= 1 kilowat	= 10^{10}	—
volt	= 1 volt	= 10^8	—
néampère	= 1 kiloampère	= 10^2	—
nécoulomb	= 1 kilocoulomb	= 10^2	—
néfarad	= 1 kilofarad	= 10^6	—
néohm	= 1 milliohm	= 10^6	—
néhenry	= 1 millihenry	= 10^6	—
némaxwell	=	10^8	—
négauss	=	10^4	—
négilbert	=	10^2	—
oersted	=	1	—
unité de perméabilité magnétique		= 10^4	—

On voit que toutes ces unités sont d'un ordre de grandeur commode pour les usages de la pratique, sauf le *néfarad* ; mais cette situation existe déjà actuellement pour le *farad*, beaucoup trop grand pour être utilisé, de telle sorte qu'on ne peut employer que le *microfarad* ; on en

sera quitte pour employer le *hyponéfarad*, ce qui ne changera guère les habitudes.

On remarquera encore que l'*oersted* se trouve également conservé, de sorte que deux unités importantes restent sans modification, et que toutes les unités électriques modifiées sont simplement multipliées ou divisées par 1 000, ce qui constitue évidemment le maximum de commodité du moment que des modifications sont nécessaires.

Enfin, on peut entrevoir que dans un certain nombre d'années, lorsqu'il n'y aura plus pratiquement en usage aucun appareil gradué en unités actuelles et que l'espace de temps intercalé permettra d'éviter toute confusion dans la lecture de la littérature, on pourra laisser tomber le préfixe *né*, qui alourdit un peu l'écriture, et retrouver les noms d'unités d'aujourd'hui avec les nouvelles valeurs.

On pourrait, dans ces conditions, établir un système cohérent unique d'unités mécaniques, électriques et magnétiques, où toutes les unités auraient des valeurs aussi commodes dans l'ensemble, et même plus commodes pour certaines d'entre elles, que les unités actuelles, et moyennant des modifications d'une extrême simplicité, laissant même subsister deux importantes unités sans modification.

Il semble qu'un tel système mériterait d'être examiné et discuté.

M. Liénard donne connaissance de la note suivante au nom de M. Blondel.

La partie qu'on a le droit de qualifier d' « *improvisée* » des récentes décisions de la C.E.I. (car elle ne reproduit pas les propositions qui avaient été faites par les comités nationaux), et qui recommande le pra-maxwell, le pra gauss, le pra-gilbert et le pra-oersted, comme unités pratiques (avec des valeurs variées pour le préfixe « pra »), nous paraît vraiment révolutionnaire ; nous ne pouvons donc la laisser passer sans présenter des objections :

1° Ce nouveau système d'unités pratiques fait intervenir pour la première fois le quadrant dans la définition des unités composées, ce qui obligerait à mesurer les sections de fer en quadrants carrés (10^{18} cm²) et les excitations en ampère-tour par quadrant.

2° L'idée même de créer un système électromagnétique absolu E.M.Q.E.S. sur le même type que le système C.G.S. et pour concurrencer celui-ci, constitue une « innovation » contraire aux idées des créateurs du système E.M. C.G.S. et des unités pratiques qui ont voulu seulement donner des noms à certains multiples commodes des unités

C.G.S. sans autre intention. La C.E.I. n'a pas reçu de pouvoirs des Sociétés de Physique pour créer des *unités nouvelles*.

Personne, écrivait encore en 1909, M. R. de Baillehache, « n'a jamais eu l'idée de former des unités dérivées, des unités pratiques à l'aide du quadrant ».

3° Depuis 1881, on formait les unités composées à l'aide du centimètre et j'ai montré en 1896 (compte-rendu de l'Association Française pour l'avancement des sciences, « sur les unités magnétiques ») qu'on peut établir au moyen de l'ohm, de l'ampère et du centimètre, un système parfaitement cohérent (utilisable par conséquent même pour le calcul du skin effect) en adoptant par convention une unité de perméabilité $\mu_0 = 10^9$ C.G.S. qui fait attribuer à la perméabilité du vide la valeur 10^{-9} ohms-seconde par centimètre. (L'inductivité du vide correspondante, suivant la formule $K_{\mu_0} = \frac{1}{c^2}$ est égale à $\frac{1}{9.10^{11}}$ farad par centimètre).

Ce système que j'appellerai O.A.S.C. (ohm-ampère-seconde) pour le distinguer du système E.M.Q.E.S. est défini par le tableau I.

M. Brylinski admet certainement la légitimité de ce procédé d'hybridation, car il vient de proposer dans une récente communication à l'Académie des Sciences un autre système hybride, kiloampère, volt, mètre, tonne, fondé sur une perméabilité du vide égale à 10^4; le principe est le même, mais les unités sont changées.

4° L'introduction explicite de l'unité de longueur dans la formation des noms d'unité dérivées, ne peut être critiquée, car elle n'a jamais provoqué d'erreurs (tout le monde parmi les techniciens sachant très bien de quoi il s'agit). Bien au contraire, elle les évite : elle aurait empêché de confondre le gauss, unité d'induction, avec l'unité de champ. Elle est strictement conforme au principe linguistique de l'évolution des langues modernes qui tend à substituer à l'expression *synthétique* de la pensée, si pénible dans les langues anciennes telles que le latin, l'expression *analytique* qui explique d'elle-même, le concept à définir. Cette méthode analytique permet d'ailleurs, grâce à sa clarté, de former des unités usuelles hors cadre pour certaines techniques spéciales (en dehors du centimètre restant l'unité cohérente) : par exemple, on mesure les gradients de potentiel en microvolts par mètre en T.S.F. et en kilovolts par centimètre dans les tubes à vide, unité 10^{11} fois plus grande. Cela sera impossible si l'on prétend donner un nom d'homme au volt par quadrant, suivant la méthode que voudrait introduire la C.E.I.

5° Le système dualiste actuel prenant des unités électriques da systèmes E.M. absolus incompatibles, le E.M.Q.E.S. et le E.M aboutit forcément, malgré l'emploi des facteurs auxiliaires, à d tradictions, dans les calculs de propagation, d'effets pelliculaires obligent à revenir au système E.M.C.G.S. au lieu d'utiliser ment les ohms-cm, les farads par cm.

On est en outre forcé d'avoir deux définitions différentes pour tance suivant qu'on la déduit de la force électromotrice ou du f définition magnétique $L = \frac{\Phi}{I}$, (donnée avec raison par la des auteurs, notamment MM. P. Janet, A.-E. Kennelly, car ell seule claire), postule comme unité de flux le henry-ampère, unil à 10^{-8} C.G.S.; on peut appeler cette unité pratique *weber* suivant position de Szvady au Congrès de 1889, renouvelée par beaucou teurs depuis 40 ans. Weber mérite bien l'honneur attribué à l'i Gilbert; et on n'appelle pas le joule un praerg.

6° D'autres systèmes cohérents hybrides (Giorgi, Bennett, De etc.) ont été fondés sur le centimètre ou le mètre, tout en introdu facteur 4π dans l'unité de perméabilité pour faire disparaître ce facteur de la force magnétomotrice et de l'intensité du champ. faudrait alors changer toutes les unités.

On pourrait aussi former un autre système cohérent O.A.S.M le mètre au lieu du centimètre ; si nous préférons ce dernier, c'es qu'il est déjà l'unité du système C.G.S. et qu'il évite ainsi de f erreurs dans les mesures de sections de tôles de diamètres de fi ducteurs, etc. D'ailleurs, nombre d'électriciens emploient déjà sa apercevoir le système O.A.S.C., par exemple en électrostatiqu tique.

Remarque. — Le tableau du système O.A.S.C. indique trois nouvelles (avec des noms arbitraires, qu'on peut modifier) :

Kelvin pour la force magnétomotrice, (unité qui n'est pas néce car l'ampère-tour la remplace pratiquement).

Weber pour le flux (weber = volt-seconde).

Secohm pour la perméance (en 1896 j'avais proposé « arago ».

En pratique une induction de 10000 C.G.S. = 0,10 milli par cm².

Les calculs de secohms peuvent être faits ainsi avec beaucoup mo zéros que dans le système C.G.S.

TABLEAU I. — COMPLÉMENT DES UNITÉS O. A. S. C.

Unités électriques dérivées.

Gradient de potentiel	Volt : cm	10^8
Densité de courant	Ampère : cm²	10^{-1}
Résistivité.	Ohm-cm	10^9
Conductivité.	Mho : cm	10^{-9}
Inductivité.	$\frac{\text{Farad : cm}}{(3,10)^{10}}$	10^{-9}

Unités magnétiques.

Potentiel (ou force magnétomotrice). . . .	Kelvin	10^{-1}
Flux	Weber	10^8
Inductance	Henry	10^9
Perméance	Secohm ou Arago	10^9

Unités magnétiques dérivées.

Gradient ou intensité du champ magnétique.	Gilbert : cm	10^{-1}
Induction.	Max : cm²	10^8
Perméabilité.	Secohm : cm ou Arago : cm	10^9

La perméabilité et l'inductivité du vide s'expriment respectivement par :

$$\mu_v = 10^{-9} \text{ Secohm : cm} \quad iK_v = \frac{10^9 \text{ Farad : cm}}{(3.10^{10})^2} = \frac{1}{9.10^{11}} \text{ Farad : cm}$$

M. CELLERIER donne lecture d'une lettre de M. BLONDIN, qui comporte les remarques ci-après :

1° *Illogisme des recommandations concernant les unités magnétiques.* — Les unités électriques adoptées par les Congrès de 1881 et 1893 forment un système cohérent, dit système pratique. Les unités correspondantes du système électromagnétique C. G. S. n'ont pas reçu de nom. Toutefois il a été suggéré que si le besoin d'une dénomination se faisait sentir, on pourrait les dénommer en prenant le nom de l'unité dans le système pratique et le faisant précéder du préfixe « ab » (1).

(1) Bien que cette suggestion ait reçu peu d'applications, elle n'est pas cependant tombée en complète désuétude. Nous avons, en effet, récemment constaté que dans une note sur l'inductance mutuelle de solénoïdes courts et concentriques, publiée dans le numéro de juillet 1930 du *Journal of Mathematics and Phy sics* de l'Institut de Technologie du Massachusetts, les auteurs, MM. H. C. B. DWIGHT et P.-W. SAYLES, expriment l'inductance en abhenrys.

Les unités magnétiques adoptées par le Congrès de 1900 et celles proposées

2° *Autorité des décisions des congrès et groupements internationaux.* — Tous les congrès qui ont émis des recommandations concernant les unités, ou bien étaient formés uniquement de délégués des gouvernements (Congrès de 1881) ou bien comprenaient un certain nombre de délégués des gouvernements qui formaient une Chambre des Délégués officiels.

La condition primordiale pour qu'une réunion internationale puisse avoir quelque autorité en matière d'unités, semble donc être que cette réunion comprenne une Chambre des Délégués officiels. Tel n'est pas le cas de la Commission électrotechnique internationale. De plus, si l'on se reporte aux décisions du Congrès de 1904, tout ce qui concerne les unités et étalons est réservé à une commission spéciale formée uniquement de délégués gouvernementaux, commission spéciale qui se réunit en 1908 à Londres et dont les attributions ont été récemment transmises au Comité international des Poids et Mesures.

3° Pour les raisons qui précèdent, les recommandations de la Commission électrotechnique internationale doivent donc être ratifiées par un congrès et par le Comité international des Poids et Mesures. Il me semble dès lors que la Société française des Électriciens pourrait, après examen et discussion, émettre le vœu suivant :

a) Que le Sous-Comité des Unités magnétiques de la Commission électrotechnique internationale présidée par M. KENNELLY, reprenne la question des unités magnétiques ab ovo, examine comment on pourrait faire disparaître la dualité des principes de la nomenclature des unités électriques et de celle des unités magnétiques et présente un rapport sur ce sujet au Congrès international des Électriciens prévu comme devant avoir lieu à Paris en 1932.

b) Que toutes les sociétés de physique du monde civilisé soient avisées directement par les organisateurs du Congrès de 1932, que la question des unités électriques et magnétiques sera discutée à ce congrès et qu'il leur soit demandé de faire connaître leur opinion.

M. LIÉNARD. — Je demande la permission de présenter quelques observations :

---

récemment par la Commission électrotechnique internationale appartiennent, au contraire, au système C. G. S.

La Commission électrotechnique propose en outre que les unités correspondantes du système pratique soient dénommées en mettant le préfixe « pra » devant les noms adoptés pour les unités du système C. G. S.

Ainsi donc les bases de la nomenclature des unités magnétiques sont complètement différentes de celles de la nomenclature des unités électriques. Cette dualité constitue un illogisme qui ne peut manquer d'avoir des conséquences fâcheuses dans l'enseignement de la nomenclature électrotechnique.

Je suis de ces personnes dont parlait M. Brylinski, qui considèrent comme nécessaire d'avoir la même unité pour le champ et l'induction. Aujourd'hui j'admets que l'on peut adopter des unités différentes, mais je ne le crois pas indispensable. Tout dépend des définitions adoptées pour le champ et l'induction. J'ai déjà eu l'occasion de m'en expliquer.

Mais si je reconnais qu'on peut adopter des unités différentes suivant les définitions adoptées, reste à savoir s'il y a utilité à le faire.

D'une façon générale j'estime que, dans toutes les questions relatives aux unités, c'est le point de vue « commodité » qui doit guider la décision. A mon avis on a beaucoup trop mêlé des considérations philosophiques et métaphysiques dans les questions de dimensions d'unités, alors qu'il s'agit avant tout de simplifier le plus possible les calculs dépendant du choix des unités et de leurs changements.

L'emploi des pramaxwell, pragauss, praoersted et pragibert pour désigner les unités pratiques correspondant à diverses unités C. G. S. ne me parait pas heureux. Il faut en effet se rappeler que, suivant le cas, le préfixe « pra » équivaut à une multiplication par 10^8, par 10^{10}, par 10^{-10} ou par 10^{-1}. On met un mot court mais ce mot signifie une opération variable.

Mon observation ne s'appliquerait pas si l'on s'était contenté d'introduire le pramaxwell, la seule des quatre unités nouvelles qui puisse être d'un emploi commode. Dans ce cas, en effet, il suffirait de de se rappeler que le préfixe pra équivaut à la seule multiplication par 10^8.

Le système d'unités proposé par M. Blondel dans la note que je viens de lire se rapproche de celui proposé tout à l'heure par M. Brylinski et n'en diffère que par les valeurs données aux unités fondamentales.

Si je ne me trompe, le système de M. Blondel revient à ceci, que l'unité de masse correspondrait à 10^7 grammes ou 10 tonnes, l'unité de longueur serait le centimètre, l'unité de temps serait la seconde, tandis que l'unité de perméabilité serait 10^9 fois supérieure à la perméabilité du vide ou encore la perméabilité du vide serait égale à $1/10^9$.

Le système de M Brylinski est analogue : les unités de masse, de longueur et de temps sont la tonne, le mètre et la seconde et la perméabilité du vide est égale à $1/10^4$.

La question est de savoir s'il est bien commode d'avoir des puissances quelconques de 10 pour représenter la perméabilité du vide.

J'estime pour ma part, que c'est tout aussi gênant que d'avoir une densité de l'eau égale à 10^3 par exemple au lieu de 1.

Quoiqu'il en soit de cette question de commodité, il est un point sur lequel je voudrais appeler l'attention. Si l'on ne prend pas la perméabilité du vide comme unité, il faut préciser à quels endroits des formules on introduira le symbole μ_0 représentant cette perméabilité.

La formule connue $\mathcal{B} = \mathcal{H} + 4\pi\mathfrak{J}$ ne peut plus conserver sa forme lorsque l'on abandonne le système d'unités électromagnétiques, puisque, pour le vide où $\mathfrak{J} = 0$, elle donnerait $\mathcal{B} = \mathcal{H}$ au lieu de $\mathcal{B} = \mu_0\mathcal{H}$.

Il faut donc introduire le coefficient μ_0 dans la formule primitive, ce que l'on peut faire de bien des manières mais dont quelques-unes seulement sont intéressantes à considérer.

On peut écrire, soit

$$\frac{\mathcal{B}}{\mu_0} = \mathcal{H} + 4\pi\mathfrak{J} \qquad \text{ou} \qquad \mathcal{B} = \mu_0(\mathcal{H} + 4\pi\mathfrak{J}) \tag{1}$$

soit au contraire

$$\mathcal{B} = \mu_0\mathcal{H} + 4\pi\mathfrak{J}. \tag{2}$$

Suivant que l'on adopte l'une ou l'autre forme, l'unité d'intensité d'aimantation se trouve différente et il en est de même pour l'unité de moment magnétique.

Or, si les constructeurs de machines et les distributeurs d'énergie électrique n'utilisent pour ainsi dire jamais ces grandeurs, de sorte que peu leur importe d'être fixés sur les unités correspondantes, il n'en est pas de même pour les physiciens. Il est donc indispensable de préciser.

Avec la forme (1) la condition d'équivalence d'un feuillet magnétique $\mathfrak{P}$ et d'un courant linéaire I est simplement

$$\mathfrak{P} = \mathrm{I}. \tag{3}$$

Si l'on adopte la forme (2), la condition d'équivalence devient

$$\mathfrak{P} = \mu_0\mathrm{I}. \tag{4}$$

Certains auteurs préfèrent la forme (4) parce qu'ils se figurent que que la condition d'équivalence entre un feuillet et un courant électrique dépend de la perméabilité du milieu et que cette condition doit être écrite d'une façon générale $\mathfrak{P} = \mu\mathrm{I}$. forme qui redonne (4) pour le vide.

D'autres auteurs, il est vrai, ont cru devoir écrire $\mathrm{I} = \mu\mathfrak{P}$. En réalité, les deux dernières formes sont inexactes l'une et lautre, car la

condition d'équivalence entre feuillet et courant est complètement indépendante du milieu.

Dans ces conditions, il n'y a plus de raison de préférer la forme $\mathcal{T} = \mu_0 I$ à la forme $\mathcal{T} = I$. Au contraire, la forme (3) est beaucoup plus naturelle, puisque l'équivalence entre le feuillet et courant est indépendante des conditions extérieures et surtout parce que l'aimantation consiste en courants de circulation d'électrons à l'intérieur des atomes. Or ces courants électroniques sont de même nature que les courants ordinaires. Il ne doit donc entrer aucun coefficient physique dans l'équation exprimant l'équivalence.

Et si l'on écrit l'équation d'équivalence sous la forme (3), c'est la relation (1) qui s'impose.

Ce qui fait que beaucoup de savants trouvent plus naturelle la forme (4) que la forme (3), c'est qu'ils sont incités à adopter la formule (3) en raison de l'analogie des lois de Coulomb pour l'électricité et le magnétisme. Mais puisqu'il est bien reconnu aujourd'hui que les masses magnétiques n'ont qu'une existence fictive et que le magnétisme est dû à des courants particulaires, il est logique de tenir compte dans le choix des formules, non pas de l'analogie purement formelle entre les lois de Coulomb en électricité et en magnétisme, mais de l'analogie réelle de nature entre les aimants et les courants. C'est pourquoi la forme (1) me parait s'imposer de préférence à (2).

M. Brylinski nous disait tout à l'heure que le congrès de 1900 aurait pu défaire ce que d'autres congrès avaient fait. Aujourd'hui encore un congrès peut modifier les décisions de congrès antérieurs. Il faut évidemment n'entrer dans cette voie qu'avec précaution. Prenons un exemple : lorsque l'on décide la transformation d'une grande gare en raison du développement du trafic, on établit les nouveaux plans en vue des besoins futurs, mais l'on se préoccupe également de ménager la transition et de permettre la continuation du service pendant la durée des travaux.

De même, il ne suffirait pas d'imaginer un système d'unités et de formules aussi parfait que possible, il faut s'occuper de la transition et se rappeler que souvent le mieux est l'ennemi du bien. Mais inversement, il ne faut pas refuser de tenir compte des progrès de la science et s'opposer à tout changement. J'estime pour ma part que, tout en s'arrangeant pour conserver le plus possible les unités actuelles, il conviendrait de réviser toutes les définitions des grandeurs magnétiques en prenant comme base les actions entre courants au lieu de celles entre masses magnétiques fictives.

Mais la question n'est pas assez mûre pour prendre aujourd'hui des

décisions. Une étude plus complète s'impose et je me rallie entièrement à la proposition de M. BLONDIN d'inviter les sociétés de physique du monde entier à venir discuter la question des unités électriques et magnétiques au congrès de 1932.

M. MAUDUIT. — Je voudrais poser à M. BRYLINSKI, ce qu'on peut appeler une question préalable.

Quelle est la situation des électriciens devant la décision de la Commission Electrique Internationale ? Cette décision est-elle sans appel, ou bien quelle est sa valeur ?

Si la définition de la Commission Electrique Internationale nous engage, comme tout autre congrès, notre discussion est inutile, nous en serons quittes pour n'employer que le moins possible de ces mots nouveaux. Mais si la décision de la Commission n'a pas la même force que celle des congrès précédents, je suis d'avis qu'on tienne compte de la remarque judicieuse de MM. BLONDIN et LIÉNARD et qu'on procède dans toutes les commissions intéressées dans toutes les compagnies scientifiques, à une étude approfondie de la question.

M. BRYLINSKI. — Je vais d'abord répondre à M. MAUDUIT.

La question pouvait se poser, je l'ai posée moi-même. Je lui dirai d'abord que nous avons décidé de préparer un congrès international pour 1932, et que par conséquent les décisions auraient pu, si on l'avait jugé utile, être soumises à ce congrès.

Le Comité d'action de la Commission électrotechnique internationale a étudié la question d'une façon approfondie, en s'inspirant des décisions du congrès de 1904 que rappelle M. BLONDIN.

Elle a décidé — c'est son avis, mais on peut ne pas être d'accord — que la mission qui lui avait été confiée par le congrès des Electriciens de Saint-Louis en 1904, comportait l'établissement des nouveaux noms d'unités. Elle ne comporte pas, par contre les questions d'étalons et c'est là où M. BLONDIN fait confusion.

J'ai soulevé cette question à Stockholm et M. LOMBARDI, — que vous connaissez presque tous, et qui fait partie avec M. P. JANET de la Commission des Unités électriques — a immédiatement remis les choses au point. Il a dit : la question des noms d'unités nous appartient, et c'est la question des étalons qui est du domaine du Bureau International des Poids et Mesures. Il y a entre les deux organismes une démarcation nette.

Quand je suis rentré à Paris, M. Paul JANET m'a confirmé cette distinction. La Commission fixe le nom des unités sans que le Bureau

des Poids et Mesures ait à intervenir. La Commission Electro-technique Internationale s'estime en droit de prendre des décisions qu'aucun congrès n'a à sanctionner, et elle ne soumettra pas ces décisions au Congrès de 1932.

Comme vous le voyez, il ne semble pas utile de discuter sur ce point.

(Protestations).

M. Liénard a posé une question qui est absolument justifiée, étant donné que l'équation $B = \mathcal{H} + 4\pi\mathfrak{J}$ est abandonnée, il faut écrire

$$B = \mu_0(\mathcal{H} + 4\pi\mathfrak{J}) \qquad \text{ou} \qquad B = \mu_0\mathcal{H} + 4\pi\mathfrak{J}.$$

M. Liénard sait que nous ne sommes pas d'accord sur ce point. Le fait qu'on adopte la valeur 1 pour la perméabilité du vide ne dispense pas de l'inscrire dans les formules où elle doit intervenir, pas plus que quand on prend des mesures de longueurs avec, pour unité, le mètre ou le centimètre, cela ne dispense d'introduire des longueurs dans les équations parce qu'elles valent 1 mètre ou un 1 centimètre.

On peut hésiter entre les deux formules, j'ai jusqu'à présent préféré la seconde, et je ne vois pas encore de raisons de changer.

Cette question est une question absolument différente de celle que j'ai traitée et qui a été réglée par la Commission technique internationale. Elle n'a rien à voir avec les noms d'unités; elle viendra ensuite et elle ne saurait constituer une raison — cette question n'est d'ailleurs pas encore réglée d'une façon unanime — pour ajourner l'adoption des nouveaux noms qui ont été adoptés par la Commission électro-technique internationale et remettre tout en cause.

On étudie ces questions, non pas depuis quelques semaines ou quelques mois, mais les solutions adoptées sont le résultat de 10 ans de travail et d'études; la Commission Electrotechnique y a mûrement réfléchi; elle n'a nullement l'intention de revenir là-dessus.

Une autre question. M. Liénard a signalé que la valeur admise pour la perméabilité du vide lui était indifférente du moment qu'on ne la conservait pas égale à 1.

Je ne suis pas tout à fait de son avis.

On se sert des perméabilités dans deux cas différents : celui des corps ferro-magnétiques et celui des corps non ferro-magnétiques. Pour les premiers, on a des perméabilités qui sont plusieurs milliers de fois celle du vide, par conséquent l'unité, qui vaut 10^4, est convenable.

Quand on examine des corps non ferro-magnétiques, on ne se sert guère de la perméabilité, mais presque uniquement de la susceptibilité. La susceptibilité est tellement petite qu'il faut, pour l'écrire, l'accom-

pagner d'un facteur 10^{-5}, ou 10^{-6} ; s'il faut remplacer ce facteur par 10^{-9} ou 10^{-10}, cela ne causera aucune complication.

L'unité 10^{4} est commode autant que l'unité actuelle; par contre, l'unité 10^{9} serait absolument mal commode.

J'ai répondu par avance, je crois, à la plupart des autres questions formulées au nom de M. BLONDEL et de M. BLONDIN.

Je voudrais cependant relever dans la note de M. BLONDEL une phase qui me choque un peu. « Si on se plaçait au point de vue de la « Commission Electrotechnique, il n'y aurait qu'une unité de gradient « de potentiel qui serait le volt par quadrant. On peut juger par là de « sa tournure d'esprit trop théorique ».

C'est une apprécation inexacte et, de plus, surprenante puisqu'après avoir reproché au système de ne pas être suffisamment cohérent, M. BLONDEL propose de le rendre encore moins cohérent.

Surtout, je voulais dire que le reproche qu'il adresse n'est pas fondé.

La Commission n'a jamais dit qu'on ne pouvait pas employer d'autre unité de gradient de potentiel que le volt par quadrant. L'unité du système pratique est le quadrant, mais de là à interdire l'emploi des unités en volts par centimètre ou analogues, il y a loin et jamais elle n'y a songé. La question ne s'est même pas posée. On pourra continuer à employer le volt par centimètre ou des unités du même genre.

M. BUNET. — Messieurs, je ne voudrais pas vous retenir trop longtemps, ni même vous développer une opinion. Mais, il y a une chose dont je suis frappé, c'est que nous venons d'adopter de nouvelles unités, surtout pour élucider un malentendu mis sur le compte des Américains. Ce n'est pas absolument exact.

M. BRYLINSKI. — Ce sont les Américains qui ont posé la question ainsi.

M. BUNET. — Cela nous entraînerait trop loin. — En 1900, nous aurions adopté le gauss pour unité de champ, les représentants Américains seraient repartis chez eux et auraient dit : « mais pas du tout, c'est l'unité d'induction ! » Puis ce serait resté comme cela.

Dans la R. G. E, M. Kennelly dit ceci : « Si la force magnétique $\mathcal{H}$ et l'induction $\mathcal{B}$ sont identiques au point de vue physique, il n'est pas seulement superflu, mais aussi erroné de les appeler par des noms différents et de leur donner des unités différentes. Si au contraire l'induc-

tion $\mathcal{B}$ diffère essentiellement de l'intensité de champ $\mathcal{H}$ alors il devient nécessaire d'avoir des unités différentes, etc... »

Des discussions ont eu lieu, et on a adopté cette dernière solution à Stockholm. Mais M. KENNELLY va retourner aux Etats-Unis, et il va se trouver en présence de ses compatriotes. Ceux-ci ont certaines idées dont j'ai essayé de me rendre compte, et c'est pour cela que j'ai lu leurs publications. J'ai trouvé entre autre exemples dans un de ces livres les plus répandus, publiés à de nombreux exemplaires, la manifestation nette d'une opinion absolument opposée, dont j'ai fait la traduction.

(Lecture par M. BUNET de sa traduction). Beaucoup d'autres publications américaines, même très récentes, sont dans le même sens.

Par conséquent je me demande si KENNELY sera poursuivi par ses compatriotes, et si dans quelques années nous ne rencontrerons pas un nouveau malentendu avec eux.

M. BRYLINSKI. — Je voudrais dire un mot, — il est tout de même plus facile de répondre tout de suite — à propos de ce que vient de dire M. BUNET.

Je n'ai pas pu vous donner tous les détails des délibérations de la Commission, c'eut été trop long, d'ailleurs cela me serait difficile, car je ne puis me rappeler tous les détails.

Mais je puis dire que cette question a été discutée par les Américains, et qu'ils nous ont apporté des propositions. Ils ont discuté notamment ce qu'étaient les perméabilités absolues et relatives, et M. KENNELLY a apporté l'opinion du groupement américain.

M. BUNET. — WILSON disait la même chose !

M. BRYLINSKI. — WILSON était lié par la constitution des Etats-Unis qui dit que le Président passe les traités et que personne d'autre ne peut le faire à sa place, mais que ces traités n'ont aucune valeur tant qu'ils n'ont pas été ratifiés par le Sénat! Nous ne pouvions faire autrement que ce que nous avons fait.

Mais le cas n'est pas le même...

Il est dangereux de prendre une publication américaine et de dire : voilà l'opinion des Américains. Les Américains ont, comme tous les peuples, des auteurs d'opinions différentes et les publications donnent leur opinions personnelles. Si vous lisez des publications françaises, vous verrez que M. LIÉNARD a une opinion et que M. BRYLINSKI a parfois une autre opinion. On ne saurait conclure de

l'un ou l'autre de ces publications que tous les français sont de l'avis de M. Liénard ou qu'ils sont tous de l'avis de M. Brylinski ; il y en a vraisemblablement de l'une et de l'autre opinion.

Ce n'est pas une raison parce qu'il y a des points sur lesquels il n'y a pas l'unanimité complète pour qu'on ne marche pas de l'avant là où il y a un accord suffisamment étendu.

On a donné des noms à certaines unités parce qu'on a estimé que ces noms étaient nécessaires, pour la pratique courante, et que pour les autres on pouvait encore s'en passer.

M. Iliovici. — Je commencerai par dire que, à mon avis, la Société Française des Electriciens devrait protester contre l'adoption du *pramaxwell*. La question des unités est trop compliquée pour qu'on la complique davantage, surtout si l'on n'adopte que des mesures partielles.

Il est plutôt gênant d'avoir à utiliser les unités électromagnétiques pour les grandeurs magnétiques et les unités du système pratique pour les grandeurs électriques, et surtout de désigner par un nom propre tantôt une unité théorique, tantôt une unité du système pratique... mais enfin on a pris l'habitude de cette dualité. On a aussi l'habitude des multiples et sous-multiples des unités, dont les noms sont formés à l'aide des préfixes : déca, hecto, kilo etc. indiquant le rapport entre la nouvelle unité et celle dont elle dérive.

Aujourd'hui on introduit un nouveau préfixe « pra » qui, par lui-même ne donne aucun renseignement sur la grandeur de la nouvelle unité; de plus on applique ce préfixe à *une seule unité* et on sait d'avance que l'on ne pourra pas l'étendre pratiquement à d'autres... Et quelle est la simplification destinée à contrebalancer la nouvelle complication? C'est que l'on supprime le coefficient 10^{-8} dans les formules donnant les f.e.m; par contre, dans les valeurs des flux qui, dans les machines, sont de l'ordre de 10^{6} maxwells, on sera amené à introduire des coefficients 10^{-2} ou 10^{-3}, tandis que, actuellement, on peut supprimer tout cofficient en se servant du mégamaxwell. On complique donc la question des unités, pour un avantage tout à fait illusoire.

Je ne vois aucun inconvénient à l'adoption des autres noms d'unités proposés à Stockholm : le *maxwell* pour le flux : le *gilbert* pour la f. e. m. [malgré que l'on emploie pas souvent cette unité, *l'ampère-tour* ayant pris droit de cité dans la pratique]; l'*œrstedt* pour le champ magnétique [malgré que *l'ampèretour par cm* à grandes chances de rester] et enfin le *gauss* pour l'induction.

Je ne vois pas d'inconvénient à l'emploi d'unités différentes pour le *champ magnétique* et pour *l'induction*, malgré que j'étais parmi ceux qui considéraient que les grandeurs $\mathcal{H}$ et $\mathcal{B}$ sont de même nature. Mais il y aurait lieu de préciser ce que l'on entend par $\mathcal{B}$.

Il existe en effet au moins deux façons de définir une grandeur ayant les propriétés attribuées à l'induction.

1° Si dans un milieu magnétique on trace une fente cylindrique, dont les bases ont leurs dimensions linéaires infiniment petites de premier ordre, la distance entre ces bases étant un infiniment petit d'ordre supérieur, et si dans cette fente on place une masse magnétique unité, l'action sur cette masse dépend de l'orientation de la fente : a) si la fente est placée de façon que ses parois ne produisent aucune action, on obtient le *champ magnétique* ; b) si la fente est dirigée de façon que ses parois produisent le maximum d'action, la force qui agit sur la masse unité a des propriétés de vecteur $\mathcal{B}$, elle donne un flux conservatif satisfaisant au théorème de Gauss, la dérivée de son flux à travers un contour donne la f. e. m. dans ce contour, avec des unités appropriées, etc.

Ce vecteur peut être appelé *induction* et il a les mêmes dimensions que le champ magnétique.

2° On peut partir de la f. e. m. induite dans une spire infiniment petite placée dans un milieu magnétique. Cette f. e. m. dérive d'un flux d'un certain vecteur qui a les propriétés du vecteur $\mathcal{B}$; et si on désigne ce vecteur par *induction*, on peut, jusqu'à nouvel ordre, considérer que celle-ci a des dimensions différentes des champs magnétiques.

La définition de $\mathcal{B}$ par la fente est peut-être ancienne, mais c'est celle que l'on trouve dans presque tous les ouvrages didactiques. Si vraiment elle ne correspond à aucune réalité, on devrait la supprimer et la remplacer par une notion plus exacte... ce qui ne semble pas facile.

M. Bayle. — Je demande que les définitions de Steinmetz relatives à l'intensité du champ et à l'induction, qui viennent d'être rappelées par M. Bunet, figurent au compte rendu de la discussion ; elles sont simples, claires.

D'autre part je lis, sous la plume de M. Blondel, une observation d'une grande importance européenne :

« nos confrères anglo-saxons, chez lesquels depuis la guerre, le pied a repris une importance prépondérante sur le Mètre, etc... ».

En effet, le système métrique recule dans certains pays de grande industrie ; le pied reprend une prépondérance qu'il avait perdue ; il

semble qu'on s'éloigne aux Etats-Unis et ailleurs, de l'idée d'un *système unique* de mesures universelles.

Pour l'usage de tous les hommes, une seule unité de force, le kilogramme (ou Grave [1]), et une seule unité d'énergie : le kilogrammemètre, avec leurs multiples et sous-multiples, sont nécessaires et *suffisantes*.

Le Ministère du Commerce annonce qu'il y a 700 millions d'hommes qui pratiquent le système métrique ; il y a donc 700 millions d'hommes qui connaissent, ou peuvent connaître, l'unité de travail : force × longueur, soit : kilogramme × mètre.

La notion du Joule est pratiquement inaccessible à la masse humaine. Chacun peut observer que si, dans son enfance, on ne lui avait pas montré expérimentalement, que le kilogrammètre est le travail nécessaire pour élever une masse pesant un kilogramme à un mètre de hauteur, il lui aurait manqué la connaissance sensorielle, presque matérielle, de la plus haute importante des unités mécaniques.

Il faut, *ou il faudra nécessairement un jour*, revenir au système métrique.

M. Mauduit. — M. Brylinski a répondu à une question, mais oui ou non la décision de la Commission Electrique Internationale est-elle sans appel ?

M. Brylinski nous a expliqué que cette Commission avait décidé qu'il n'y avait pas lieu de soumettre cette décision à un congrès à venir, qu'elle était qualifiée pour la prendre et la faire respecter. N'y a-t-il pas de la part des Comités Electrique Nationaux possibilité de protester, ou y a-t-il une période pendant laquelle ils peuvent encore protester qu'ils ont été mal compris ?

Et enfin je m'étonne — peut-être est-ce ignorance de ma part — que des questions comme celles-ci n'aient pas été connues du public avant la décision de la Commission Electrique Internationale. A-t-elle été discutée dans nos Comités ? Y a t-il des sociétés qui ont donné mandat à leurs délégués à la Commission Electrique Internationale de prendre telle ou telle position ?

Il serait intéressant de le savoir, parce que si cela n'a pas été, nos sociétés françaises scientifiques et techniques auraient quelque raison de protester contre cette décision et de demander qu'il en soit fait appel devant un congrès.

---

(1) C'est le nom donné à ce multiple du gramme-poids par le décret du 1er août 1793, sur le système général des poids et mesures françaises.

Voilà ce que je voulais savoir, parce que si vraiment notre Comité Electro-technique français ou ses représentants ont agi en communauté d'idées avec les organes qualifiés, et s'ils sont de l'avis de la Commission Technique Internationale, il nous est difficile de protester. Autrement nous le pourrions peut-être, puisqu'ici, dans la salle, beaucoup de gens sont hostiles à tout ou partie de ces décisions.

Il y aurait intérêt à ce que cette question soit mise à l'ordre du jour, au besoin, au congrès prochain.

Je ne prends pas parti pour une solution ou une autre, je parle plutôt en juriste, pour savoir si oui ou non nos discussions sont utiles. Si elles sont utiles, je consens à les continuer, mais si elles sont stériles, elles sont tellement ennuyeuses qu'il vaudrait mieux nous en tenir là !

M. Brylinski. — La situation au point de vue de l'adoption définitive de ces questions est la suivante : les décisions dont il est question ont été adoptées par la Commission Electrique Internationale, mais on demandera encore un avis à tous les Comités Nationaux.

Le Comité Electrotechnique français a procédé à ses études d'une façon complète, en harmonie avec diverses sociétés. Il y a des représentants de diverses sociétés dans son sein, ce sont eux qui ont à instruire leurs sociétés de ce qui se passe, et à provoquer leurs instructions, et le Comité Electrotechnique français est arrivé à Stockholm dans les idées qui viennent d'être énoncées. De plus, le Comité Electrotechnique français a, dans une séance qui date de quelques jours, ratifié les quatre nouvelles dénominations d'unités. C'est un fait acquis.

M. Mauduit. — Alors, nous pouvons passer à la question suivante.

M. Brylinski. — Je voudrais répondre à M. Iliovici. Il me semble qu'il a fait une confusion.

La Commission électrotechnique Internationale a confirmé les décisions du congrès de 1900, lequel avait décidé que les unités magnétiques seraient du système C. G. S. ; cela n'innove rien. Elle a conservé le maxwell et le gauss ; elle a seulement, conformément à l'avis presque unanime de tous ceux qui s'occupent de la question, décidé qu'il valait mieux éviter la confusion entre le champ et l'induction magnétique en donnant à leurs unités des noms différents, et elle a adopté une unité qui est nouvelle peut-être pour quelques-uns, le gilbert. Cette unité n'est pas nouvelle en Amériqque où tout le monde

s'en sert depuis longtemps, elle n'est même pas nouvelle en
où beaucoup d'électriciens français l'emploient.

Par conséquent M. Iliovici a complète satisfaction. On a
ment ouvert une porte en disant que ceux qui voudraient un nc
tinct pour les unités du système pratique pourraient l'obtenir

Maxwell et Lord Kelvin n'ont pas fait de distinction fonc
tale entre le champ et l'induction. Lord Kelvin appelait une
grandeurs la définition polaire et l'autre la définition de la for
gnétique; cela fait deux définitions d'une même grandeur. et ce
nière de voir a amené, en 1889, les électriciens, dans un c
régulier, à décider que l'unité de self-induction serait le qua

En effet, on peut aboutir à une théorie correcte dans ce
d'idées, je pourrais vous le démontrer, mais cela prendrait
10 minutes et ce n'est pas indispensable. C'est pour revenir su
adoption du quadrant — qui était une définition résultant du s
de la fente — que le congrès de Chicago a créé le henry, et il
voulu, en adoptant le henry, créer une unité magnétique.

M. Mauduit. — En résumé, je me déclare satisfait : cette disc
est purement académique, je suis d'avis de passer à une autre.

M. Cellerier. — Messieurs, ce serait méconnaître votre esprit
tifique que de ne pas admettre la discussion, et nous nous s
réunis justement à cet effet. Toutefois il y a un fait qui doit, il m
ble, dominer la discussion : lorsque des organismes réguliè
constitués, et nous représentant, comme le Comité Electrotech
français et comme la Commission Electrotechnique Internationa
pris décision, après mûres réflexions, après de nombreuses étu
discussions qui ont été certainement passionnées, il faut sav
mettre, par une discipline consentie, les décisions qui ont été
prises en quelque sorte en notre nom.

Rien ne s'oppose d'ailleurs et tout en tenant compte du fait a
à ce que nous puissions reprendre l'étude de certaines de ces
tions délicates qui vous ont été présentées aujourd'hui sur les
et que lors du prochain congrès de 1932, vous fassiez entendre v
servations. Et il sera alors possible à cette époque que des c
ments soient apportés, ce qui ne sera autre chose que la sancti
progrès.

M. Liénard. — Le Comité Electrotechnique français lors de
cussion, s'est décidé excessivement vite.

Nous avons passé plus de temps ici pour discuter la question que ne l'a fait le Comité. Il eut été souhaitable qu'il se hâte moins.

M. Darrieus. — Ceux d'entre nous qui regrettent la décision prise doivent se consoler en constatant que si elle n'était pas intervenue, le désaccord actuel n'en subsisterait pas moins.

La question de la différence de nature entre le champ et l'induction a été ardemment discutée il y a quelques années sans aboutir à une conclusion bien nette.

M. Iliovici a rappelé que le système C. G. S., du point de vue didactique, suppléerait à cette complexité excessive.

M. Iliovici. — On ne supprime rien et on surajoute toujours.

M. Darrieus. — Heureusement que dans l'industrie le système C. G. S. fait des progrès lents, mais très sûrs. Il s'est implanté dans des milieux inattendus, et nous pouvons en attendre une grande simplification petit à petit.

M. Cellérier. — Je me suis gardé à dessein de parler du système des unités actuellement officielles, ayant été l'un des rapporteurs de la Commission chargée de la réforme de la Législation des Poids et Mesures, et notamment pour les unités électriques. En attendant que de nouvelles études et discussions aient permis de compléter l'œuvre des électriciens, pour l'accord sur les définitions nouvelles envisagées des unités magnétiques, il paraît sage d'accepter ce qui a pu être décidé à la Commission Electrotechnique internationale.

M. Darrieus. — Le système pratique prêtait déjà à des critiques où apparaissaient les difficultés actuelles. Ce qui fait l'incertitude de ces discussions, c'est que beaucoup de décision devraient être remaniées, et le système pratique lui-même.

Le mieux est donc de nous rallier docilement aux décisions de la Commission Electrotechnique, en attendant que la question soit assez mûre au point de vue scientifique pour justifier un remaniement plus considérable.

M. Iliovici. — J'ai été mal compris. Je n'ai pas voulu critiquer le système C. G. S., au contraire, seulement j'ai dit que lorsqu'on crée de nouveaux systèmes ils se superposent aux anciens. Or, ouvrez les livres les plus récents de physique dans les lycées, vous y trouverez l'unité kilogramme-force, et on y parle vaguement du système C. G. S., comme de quelque chose d'imposé.

M. Mauduit. — J'avais posé une question préjudicielle, pour demander si vraiment il y avait lieu de discuter du moment que la décision était sans appel.

Mon opinion est celle-ci : je regrette l'introduction de tous les « pra ». J'aurais adopté volontiers le pramaxwell, je m'en sers depuis longtemps, en supprimant le 10^{-8} dans les formules, mais je suis hostile aux autres « pra » dont je ne vois pas l'intérêt.

Je ne vois cependant aucun inconvénient à me ranger aux opinions de la Commission : elle m'a donné des unités que je ne demandais pas. Je ne m'en servirai pas et voilà tout.

Je me range à l'opinion de M. Darrieus. Il y a eu évidemment des erreurs commises dans l'établissement du système pratique.

M. Brylinski. — Il n'est pas nécessaire d'arriver à une conclusion définie. Je vous ai fait un simple exposé de ce qui a été fait.

M. Cellerier. — La proposition de M. Blondin, à savoir que le Comité des Unités Mécaniques soit invité à examiner de nouveau la question, est-elle définitive ?

M. Brylinski. — Je considère que non. Le Comité examine la question depuis des années, il a travaillé avec les membres qui ont été désignés pour en faire partie, et qui ont fait le travail.

M. Cellerier. — Je crois résumer l'opinion d'un nombre relativement important de nos collègues en disant qu'il paraît utile de reprendre dans son ensemble la question des unités, en y incorporant tout ce qui a pu être sanctionné jusqu'à ce jour, et en étudiant les modifications qui pourraient être apportées pour qu'au prochain congrès de 1932 il y ait un ou des rapports précis sur la question.

M. Bunet résume son rapport sur l' « *Etablissement de relations et de formules par la considération de dimensions et d'homogenéité* » (1).

M. Lartigue donne lecture de deux notes suivantes, à l'appui de la communication de M. Bunet.

Le *principe d'homogénéité* est habituellement désigné, chez nos

(1) *Bulletin de la Société française des Electriciens*, septembre 1930.

voisins d'outre-Manche, sous le nom de *principe de similitude*; les plus grands savants y ont fait appel avec succès.

J'ai eu occasion d'étudier les ouvrages d'hydrodynamique qu'un distingué spécialiste anglais, le lieutenant-colonel R. de Villamil, a récemment publiés à Londres (E. et F. N. Spon, éditeurs) : *A B C of Hydrodynamics* (1912); *Motion of Liquids* (1914) ; *Resistance of Air* (1917); *Rational Mechrnics* (1928).

Au chap. V de « *Resistance of Air* », l'auteur établit, *par l'analyse dimensionnelle*, les trois formules classiques suivantes :

(1) $$R = K\rho(lv)^2$$ (Newton),

pour les fluides à viscosité négligeable ;

(2) $$R = K\mu(lv)$$ (Stokes),

pour les déplacements sous de faibles vitesses ;

(3) $$R = K\rho(lv)^2 f\left(\frac{\nu}{lv}\right)$$ (Rayleigh),

qui est l'équation fondamentale de la résistance des fluides.

Or cette dernière formule avait été proposée, par Lord Rayleigh, dans une « *note sur l'Applicabilité en dynamique du principe de similitude* » publiée en 1909-1910 par le Comité consultatif anglais de l'Aéronautique; et, le sous titre : « *Le Principe de similitude* », le même savant écrivait, dans la revue anglaise *Nature* du 18 mars 1915 :

« J'ai souvent été impressionné par la maigre attention accordée au grand principe de similitude, même par les auteurs de travaux originaux en physique. Il n'est pas rare que des résultats en forme de « lois » soient donnés comme des nouveautés sur la base d'expériences approfondies, alors qu'ils auraient pu être prédits *a priori* après quelques minutes d'examen. Si utile que puisse être la vérification, soit pour lever des doutes, soit pour exercer des élèves, ce qui précède paraît être une interversion de l'ordre naturel ».

Se conformant à cet avis éclairé, le colonel de Villamil a écrit de son côté, dans l' « Introduction » de ses « *Rational Mechanics* » :

« Une connaissance élémentaire des « Dimensions » et du « Principe de similitude » doit être inculquée de bonne heure. Le sujet n'est point difficile; les avantages à en retirer sont considérables; estimant qu'ils sont de première importance, j'ouvrirai le prochain chapitre par un aperçu général de ce sujet ».

M. Bunet nous a montré qu'en certains cas il convenait de s'adresser

au système *d'unités électrostatiques* (U.E.S.), plutôt qu'au système usuel *d'unités électromagnétiques* (U.E.M.). Je voudrais indiquer qu'on peut aussi recourir utilement au *système absolu*, où les seules grandeurs fondamentales sont la longueur et le temps.

L'équation de dimensions

$$[M] = [L^3 T^{-2}],$$

qui résulte de ce système, à été donnée par Maxwell dans son célèbre *Traité* : elle a été préconisée par Lord Kelvin dans sa conférence de mai 1883 sur les *Unités Electriques* : elle a trouvé en France un infatigable champion, érudit et convaincu, en la personne du Président de notre « Groupe Sud », M. Pierre JUPPONT, qui y a consacré de nombreux et remarquables travaux, en 1899 (1), en 1903 (2), en 1909 (3), en 1916 (4), et depuis encore.

Parmi les avantages du *système absolu*, je n'en retiendrai ici que deux.

1° *Disparition d'une discordance dimensionnelle apparente entre les masses mécanique, électromagnétique et électrostatique.*

Avec les systèmes d'unités habituellement employés on est conduit à attribuer :

A la masse mécanique, la dimension. . . . . $[M]$ et l'on écrit la loi de Newton : $f = \frac{1}{\gamma} \frac{MM'}{r^2}$.

A la masse électromagnétique m, les dimensions $[L^{3/2} M^{1/2} T^{-1}]$, et l'on écrit la loi de Coulomb : $f = \frac{1}{\mu} \frac{mm'}{r^2}$;

A la masse électrostatique e, les dimensions $[L^{3/2} M^{1/2} T^{-1}]$, et l'on écrit l'autre loi de Coulomb : $f = \frac{1}{\varepsilon} \frac{ee'}{r^2}$.

Avec le *système absolu*, les trois sortes de masse prennent pour expression dimensionnelle commune. . . . . $[L^3 T^{-2}]$.

2° *Elimination, dans les équations de dimensions des quantités élec-*

(1) *Température et Energies* (Bernard TIGNOL, Paris ; Edouard PRIVAT, Toulouse). Se termine par des tableaux comparatifs très complets des expressions dimensionnelles des principales grandeurs physiques, dans les différents employés systèmes ou proposés.

(2) *Mémoires de l'Académie de Sciences de Toulouse*, 10e série, tome III ; voir aussi tome V (1905), tome X (1910), et 11e série, tome IV (1917).

(3) *Bulletin de la Société Internationale des Electriciens*, Paris, août-octobre 1909 ; « Note sur les liaisons des postulats de la Mécanique avec les équations dites *de dimensions* des grandeurs électriques. (p. 529 à 551) ; « Quelques réflexions sur les propositions de M. JUPPONT, par M. BRYLINSKI, et réponse de M. JUPPONT (p. 553 à 563).

(4) *Mémoires et Comptes Rendus de la Société des Ingénieurs civils de France*, avril-juin 1916, p. 336 à 345.

tromagnétiques ou électrostatiques, de tous les exposants fractionnaires.

Nous venons de voir deux premiers exemples de cette élimination.

Pour l'intensité de champ $\mathcal{H}$, l'induction magnétique $\mathcal{B}$, la force magnétisante $\mathcal{H}$, l'intensité d'aimantation I,

$$[L^{-1/2}M^{1/2}T^{-1}] \qquad \text{devient} \qquad [LT^{-2}].$$

Pour la quantité d'électricité (coulomb, en U.E.M.).

$$[L^{1/2}M^{1/2}] \qquad \text{devient} \qquad [L^2T^{-1}].$$

Pour l'intensité de courant I, la force magnétomotrice $\mathcal{F}$, en U.E.M.; le potentiel électrostatique, en U.E.S.,

$$[L^{1/2}M^{1/2}T^{-1}] \qquad \text{devient} \qquad [L^2T^{-2}].$$

$$[L^{5/2}M^{1/2}T^{-1}], \qquad \text{devient} \qquad [L^4T^{-2}].$$

Enfin le moment magnétique $\mathfrak{M}$, dont M. Liénard rappelait il y a quelques instants l'importance, vient se confondre avec le moment d'une masse gravifique. De même que l'expression [ML] de ce dernier, l'expression singulièrement plus compliquée du moment magnétique.

En venant ici j'ignorais ce que M. Brylinski nous dirait au sujet des « Unités magnétiques » : mais, connaissant de longue date sa répugnance pour les exposants fractionnaires dans les équations de dimensions, j'avais une lueur d'espoir de me trouver d'accord avec lui, sur le terrain du *système absolu* d'unités électrodynamiques.

M. Liénard. — Je demande à faire une observation. La question de la similitude n'est pas nouvelle, elle est même assez ancienne.

Pour la seconde question traitée, je pense qu'elle est intéressante en elle-même, mais elle est tout à fait distincte de celle de M. Bunet. En diminuant le nombre d'unités possibles, on diminue les problèmes que l'on peut résoudre. Au lieu d'accroître les cas d'application de la méthode de M. Bunet, on les réduit.

M. Lartigue. — Je suis en mesure de répondre par un exemple d'ordre pratique à l'objection de M. Liénard. Quand on veut chercher à résoudre les questions de masses atomiques qui se posent dans l'étude de la constitution de la matière, on se trouve en présence de masses d'origines différentes. Il y a une masse électrogalvanique, une masse électromagnétique, une masse électrostatique, à l'ensemble desquelles il est indiqué d'assimiler la masse atomique matérielle. Or, si l'on conserve aux masses élémentaires les dimensions complexes des systèmes usuels, on ne saura pas les additionner, ou les composer entre elles, d'une manière qui permette de retrouver la masse matérielle,

dimension [M]. Mais je viens justement de rappeler qu'on peut, grâce au *système absolu,* ramener toutes ces masses à l'homogénéité, avec l'expression dimensionnelle $[L^2T^{-3}]$.

M. Bayle. — M. Bunet nous a donné un certain nombre d'exemples d'une grande subtilité, mais il faut qu'on adopte mon point de vue sur la masse d'abord, ensuite peut-être sur la température, mais tant que je n'aurai pas une majorité de mon avis sur la masse, je m'en tiendrai à la masse.

Dans ce qu'à dit M. Bunet, je retiens quelque chose qui me met tout à ait à l'aise, c'est la formule du pendule.

A titre de contribution à l'étude des propriétés des équations de dimensions et de l'homogénéité métrique, je vais montrer, à l'aide de la théorie positive (1) des unités, que nombre de ceux qui enseignent la formule du pendule, la connaissent mal, et que ceux mêmes qui la connaissent le mieux, ne la connaissent qu'incomplètement, car une formule dépourvue de ses unités n'est pas une relation physique concrète mais une relation algébrique abstraite. La formule du pendule n'est connue que sous sa forme abstraite (2).

Naturellement ce n'est pas la théorie mathématique du pendule que je refais, mais seulement une étude expérimentale, de forme que je crois nouvelle, à l'intention de quelques universitaires et de certains ingénieurs qui, les uns et les autres, se font des grandeurs physiques en général, et de la masse en particulier, une idée qui relève, encore aujourd'hui, de la pire scolastique (3).

D'ailleurs le pendule ne joue ici, comme dans le travail de M. Bunet (4) que le rôle d'un accessoire convenable au but poursuivi : la consolidation de la théorie positive des unités.

Ce qu'il faut penser de la nouvelle théorie des unités. — Il faut penser d'abord, et avant tout, que c'est une théorie simple, si parfaitement

(1) Cette théorie est dite positive, au sens d'Auguste Comte, par opposition à l'ancienne théorie, que j'appelle la théorie mystique des équations de dimensions.

(2) Je veux dire par là que je ne connais aucun auteur qui ait laissé entendre que le coefficient de la loi du pendule est un coefficient expérimental; ni aucun, non plus, qui ait écrit que le cœfficient expérimental est un nombre variable suivant les dimensions physiques des unités. D'où il résultait que le cas de ce coefficient était d'une extrême singularité. Je montre qu'il n'a rien de particulier et qu'il suit la règle générale.

(3) J'ai consacré soixante-dix pages du livre *Les Hauts Salaires* à l'étude de la masse-coefficient.

(4) *Bulletin de la Société française des Electriciens sept.* 1930 ; *Etablissement de relations et de formules par la considération de dimensions et d'homogénéité,* par M. Bunet.

simple que le mot théorie lui convient à peine ; je la dénomme théorie parce que je n'ai pas d'autre mot pour désigner l'idée qu'elle représente.

Cette nouvelle théorie des unités possède toutes les qualités de l'ancienne, plus quelques autres encore; c'est dire qu'outre l'explication des changements numériques des mesures proprement dites, en fonction des unités, elle explique aussi le mode de formation des coefficients, des paramètres, etc., et leurs variations numériques, ce que ne permet pas l'ancienne.

Elle éclaire complètement la notion d'homogénéité métrique des relations physiques et peut-être aussi la notion de l'homogénéité algébrique et analytique, qui est assez trouble.

On doit lui reconnaître une infériorité énorme par rapport à celle qui l'a précédée : la théorie positive des équations de dimensions ne permet pas de découvrir de nouvelles lois physiques inconnues en procédant, sur le papier, à des combinaisons de lettres.

Par contre, elle constitue un moyen de rendre clairs des raisonnements obscurs ; elle contraint ceux qui lui accordent quelque attention à remarquer avec surprise que la notion de grandeur physique n'est simple que si on la croit telle, sans examen.

Sa supériorité écrasante, dans son domaine d'ailleurs restreint, c'est de chasser la métaphysique de la physique, et de faire voir les grandeurs comme elles sont, et autrement qu'on ne les a vues jusqu'ici ; chaque grandeur physique a son existence propre, distincte et irréductible à toute autre ; les conséquences de ce fait se développeront avec les applications.

J'écris à nouveau qu'il est inutile d'appliquer cette théorie aux unités électriques avant qu'elle ne soit reconnue valable pour les unités mécaniques en général, et spécialement pour la masse.

Cette théorie, tout entière, est incluse dans les quelques mots suivants : les mesures physiques s'introduisent dans les calculs, sous la forme de rapports tels que $\frac{m\ [M]}{1\ [M]}$ rapport d'une masse quelconque m [M] à l'unité 1 [M].

Je ne connais pas de théorie générale pouvant être résumée en moins de mots ; mais une telle concision rend cette théorie inintelligible ; l'expérience prouve que son évidence ne s'impose pas sans réflexion.

Il faut des applications, des exemples; plus les applications seront

nombreuses, plus la théorie s'affirmera comme une vérité élémentaire (1).

Ces considérations, à elles seules, suffiraient à justifier l'obligation dans laquelle je me trouve de reprendre la question du pendule, que je traite ici, à son origine, sans d'ailleurs m'éloigner du sujet les unités.

De là aussi, pour la *Société des Electriciens* la quasi obligation de me faciliter la tâche, parce que c'est dans son milieu seulement que je trouverai des hommes qui, après avoir accepté cette théorie, travailleront efficacement à en répandre la connaissance.

L'indépendance intellectuelle à l'égard de la tradition est le privilège des milieux les plus instruits; les conceptions simples trouvent leur premier asile dans les esprits les plus libres ; c'est ainsi que les usagers du Système C. G. S. pouvaient seuls entendre le premier plaidoyer en faveur de la restauration scientifique du système métrique populaire français (2); je fais une nouvelle fois appel à la pensée libérale des ingénieurs électriciens, et je les remercie d'avance de leur bon accueil.

Démonstration de l'isochronisme du pendule simple. — Vu le but de cette étude, je dois partir du début; je demande au lecteur un peu de patience.

L'homme sait que son cœur bat régulièrement. Si on dénombre les petits battements d'un pendule de grande longueur (lustre d'église), et simultanément les battements de son pouls, on trouve que le rapport des fréquences du pendule et du pouls, entre deux coïncidences, est constant ; la loi de l'isochronisme est ainsi établie (3).

Cette démonstration, au moins je le suppose, est celle de l'illustre

---

(1) Voici une illustration du fait. La théorie du Salaire Moderne est tout entière contenue dans la formule : S = 10 F (*m*).

C'est la *Société des Electriciens* qui l'a fait connaître, durant la guerre, dans son *Bulletin* de mai 1916.

Mais cette formule si simple, pour être comprise des industriels a exigé des volumes d'explications et près de vingt années de propagande. Aujourd'hui cette théorie est partout appliquée, et la France lui doit en partie le maintien de sa haute productivité industrielle et presque en totalité sa tranquillité ouvrière.

(2) *Le Système Métrique absolu.* — J'ai été invité par une grande association d'ingénieurs mécaniciens français, à me munir d'une approbation internationale, avant de poursuivre, en France, ma campagne pour la restauration du système métrique; déférant à ce conseil, j'ai entrepris des démarches dans ce sens, à l'étranger.

Il serait éminemment désirable, en effet, qu'à titre de précurseurs, tous les ingénieurs européens, consentissent à parler un seul et unique langage chiffré, celui du système métrique *populaire*.

(3) Autrement dit la période de l'un des systèmes comprend toujours le même [nom]bre, entier ou fractionnaire, de périodes de l'autre système.

Galilée; son rappel est nécessaire pour ramener les écoliers-physiciens à la réalité.

Pour rejeter la métaphysique du temps subjectif, hors du débat, j'ajoute qu'il est impossible que les deux systèmes pendulaires observés, *indépendants et différents l'un de l'autre*, aient des fréquences proportionnelles s'ils ne sont isochrones; de sorte que, contrairement à l'opinion de quelques philosophes, l'observation de Galilée, interprétée comme je viens de le faire, n'est pas une simple constatation, mais encore une véritable démonstration : le pendule mesure le temps (1).

Confirmation astronomique de la découverte de Galilée. — Si on dénombre les petites oscillations d'un pendule convenablement construit, et si on mesure simultanément les déplacements angulaires d'une étoile, on trouve que le nombre des battements du pendule, à composer d'une certaine origine, sont proportionnels aux mesures numériques des déplacements angulaires de l'étoile (2).

L'élargissement de l'observation de Galilée : deux systèmes pendulaires indépendants, dont le rapport des fréquences entre deux coïncidences, est constant, sont isochrones et mesurent le temps, est ici confirmée par les phénomènes astronomiques (3).

La démonstration est dès lors complète et définitive; toute théorie qui serait en contradiction avec cette conséquence de l'observation de Galilée, serait réputée fausse.

De l'inutilité de démontrer l'évidence. — De ce qui précède il faut conclure que le pendule idéal est une machine à diviser le temps et à dénombrer des unités de temps. L'horloge est une machine à découper le jour solaire moyen, la plus commode des unités de dimension phy-

(1) On retrouverait aisément la plus abstraite philosophie en observant qu'un Univers immobile ne connaitrait pas le temps; temps et mouvement ne font qu'un; le mouvement pendulaire est cyclique.

(2) Entre divers passages successifs d'une même étoile au méridien, le rapport des fréquences de l'étoile et du pendule idéal dont la fréquence est N, par jour sidéral, est égal à $1/N$, le nombre N étant quelconque, comme dans le cas de l'observation de Galilée : c'est une application particulière de la règle générale.

La même remarque serait encore vraie, en l'absence des étoiles, si on comparait la fréquence d'un pendule avec les phases de la lune ou avec le retour périodique d'un élément connu de l'orbite terrestre; de sorte que le jour sidéral, et le jour moyen qui en dérivent, sont des unités accidentelles et arbitraires, choisies pour leur commodité.

Ajoutons que la connaissance de la variation d'un élément de l'orbite terrestre (le grand axe, par exemple) permettrait vraisemblablement aux astronomes de déterminer la variation de la dimension physique de l'unité de temps au cours des âges, à condition que les masses soient invariables.

(3) Ce qui ne serait que probable dans le cas de deux horloges identiques devient certain dans le cas d'une horloge à pendule et d'une montre à balancier circulaire parce que la permanence d'un même rapport des fréquences entre deux coïncidences n'est pas concevable en l'absence de l'isochronisme des deux systèmes oscillants.

sique naturelle (mais non la seule : jour sidéral, mois lunaire, etc.) en fractions égales, de dimensions convenables pour les usages de la vie courante.

Il est dès lors inutile et presque absurde, de faire appel aux équations de dimensions pour démontrer que la formule du pendule est homogène à un temps, et qu'il faut nécessairement adjoindre l'unité (T) à son second membre.

La démonstration classique de l'homogénéité de la formule du pendule est dérisoire (1).

M. Iliovici présente son rapport sur « Les tendances actuelles dans la construction et l'utilisation des transformateurs de mesure (2).

---

(1) Cette démonstration classique connue depuis une cinquantaine d'années a toujours été reçue pour excellente.
(2) *Bulletin de la Société française des électriciens*, 4e série, Tome X, no 111. novembre 1930, p. 1191.

OUVRAGES OFFERTS A LA SOCIÉTÉ

Production

Siemens Handbücher, XIII band. Elektrizität im Bergbau, Obering J. Bäumer, obéring C. Hahn., Ing. H. Kreisler, etc... Un volume relié de 21 × 15 cm., 390 pages, 325 figures, 3 tableaux. Edité par Walter de Gruyter et Cie, Berlin, Leipzig, 1926. — *Don de l'Editeur*.

Chimie. — Electrochimie

Les Procédés Modernes de l'Electroplastie. Le nickelage rapide à forte épaisseur, et le chromage. M. P. Bourgeois, Ingénieur A et M, Directeur technique de la Société française Pernix. 1 vol. broché de 27×21 cm., 12 p., 7 photos, 2 plans. Edité par l'Electricité pour tous et Radio-Science, 225, Bd. E., Broskstael, Laken. 1931. — *Don de l'Editeur*.

Appareillage. — Traction

Commutatrices et Convertisseurs rotatifs. P. Barrère. Ingénieur Conseil, Chef des travaux électrotechniques à l'Ecole Centrale. 1 vol. broché de 23 × 16 cm., 492 p., 371 fig., dessins, phot. Edité par J.-B. Baillière et Fils, 19, rue d'Hautefeuille Paris.1931.—*Don de l'Editeur*.

La Trazione Electrica sulle Ferrovie Italiane. Ministère des Communications Ferroviaires de l'Etat. 1 vol. relié de 24×17 cm., 189 p., photographies et schémas. Edité par Richter et Cie., Napoli. 1931. — *Don de l'Editeur*.

Siemens Handbücher. XV band. Elektrische Bahnen. D.O. Höring. Regierungs Baumeister. Prokurist der Siemens Schuckertwerke. A.G. Un volume relié de 21 × 15 cm., 515 pages, 502 figures, 9 tableaux, 1 carte, 8 photos hors texte. Edité par Walter de Gruyter et Cie, Berlin, Leipzig, 1929. — *Don de l'Editeur*.

Recherches physiques

Couleurs (Etude physique) et colorimétrie. Conférence faite au Conservatoire National des Arts et Métiers, le 7 mai 1930. P. Fleury, Professeur à la Faculté des Sciences de Lille Un volume broché de 25 × 17 cm., 33 pages, 17 figures. Edité par la Librairie Scientifique Hermann et Cie, 6, rue de la Sarbonne, Paris, 1930. Prix : 5 francs. — *Don de l'Editeur*.

Deux heures de physique. II. Structure de l'Electricité. E. Wolfers. Agrégé. Docteur ès-sciences, Chargé de Cours à la Faculté des Sciences d'Alger. Un volume broché de 19 × 12 cm., 242 pages, 17 figures. Edité par Kra, 20 rue Henri-Regnault, Paris, 1931. Prix : 20 francs. — *Don de l'Editeur*.

Données numériques d'Electricité, Magnétisme et Electrochimie. A Buffat, Docteur ès Sciences. 1 vol. broché de 27×22 cm. Electricité : 37 p., 47 fig. Magnétismes. 59 p., 70 fig., Electrochimie : 62 p. Edité par Gauthier-Villars, Paris 1930. Prix : 80 frs. — *Don de l'Editeur*.

BIBLIOGRAPHIE DES OUVRAGES OFFERTS

PRODUCTION

A. E. G. — Technischen Jahresbericht 1930, brochure de 21 × 30 cm., de 87 pages, 201 figures. Edité par l'Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft.

Cette brochure fait le bilan pour l'année 19 0, des différents progrès réalisés dans la technique du matériel et les installations électriques. Elle comporte 6 parties.

La première partie (Production du courant) renferme des renseignements intéressants sur les perfectionnements les plus récents apportés aux turbines à vapeur aux chaudières, aux turbo-alternateurs, aux transformateurs (unités triphasées de grande puissance) aux redresseurs à vapeur de mercure et à l'appareillage haute tension.

La seconde partie (Distribution du courant) traite des réactances et résistances limitant le courant du court-circuit, des relais de protection et d'un nouveau type de câble souterrain.

La troisième partie (Utilisation du courant) passe en revue les différentes applications de l'électricité à l'industrie (mines, industrie du gaz, industries chimiques pompage, métallurgie, industrie du papier, industries textiles etc.), aux usages domestiques et à l'éclairage.

Dans la quatrième partie (Moyens de transports) un important développement est consacré aux trolleybus.

La cinquième partie concerne les produits fabriqués et la sixième partie l'aménagement des usines.

TÉLÉGRAPHIE. — TÉLÉPHONIE

Données numériques de Radioélectricité rédigées par R. Mesny professeur d'hydrographie de la marine, Directeur du Laboratoire National de Radio électricité brochure de 22 × 27 cm. de 17 pages. Edité par Gauthier Villard et Cie, Paris (Tables annuelles de constantes et de données numériques.)

Cette livraison contient un certain nombre de constantes relatives à la Radio-électricité et notamment aux tubes électroniques, à la propagation des ondes, aux mesures de rayonnement aux perturbations atmosphériques, aux valeurs de la résistance en haute fréquence.

RECHERCHES PHYSIQUES

Données numériques d'électricité. Magnétisme et électrochimie. Rédigées par A. Buffat, Docteur ès sciences; L. Durand, Ecole Supérieure d'Electricité; G. Foex, Maître de conférences à la Faculté des Sciences de Strasbourg; R. L. Fortrat, Professeur à l'Université de Grenoble; N. Marinesco, Docteur ès sciences; N. Thon, Professeur à l'Université de Jérusalem. Un volume broché 22 × 27 de 469 pages, 129 courbes. Edité par Gauthier Villars, Paris, 1930. — Prix : 80 francs.

Ce recueil, extrait du volume VII des tables annuelles des constantes et données numériques et précédé d'une liste des périodiques cités dans l'ouvrage est rédigé en majeure partie en langue française et anglaise.

Il rassemble dans sa première partie toutes les données relatives aux résistivités, aux forces électro-motrices thermo-électriques aux propriétés diélectriques des isolants, au ferro-magnétisme, au para et au dia-magnétisme ainsi qu'à la magnéto-chimie.

Dans la deuxième partie, consacrée à l'électro-chimie, le lecteur trouvera toutes les données relatives à la conductibilité des électrolytes, aux forces électro-motri-

ces des piles étalons et des accumulateurs ainsi qu'aux forces électro-motrices de contact.

L'ouvrage se signale par l'abondance et la précision de sa documentation ainsi que par la clarté de la rédaction et le soin apporté à la classification des résultats en vue de faciliter les recherches du lecteur.

Le scalaire ampérien par R. Ferrier. Un fascicule de 24 × 17 cm., de 16 pages. Edité par la Cooperativa Tipografica Azzoguidi, Bologne, 1928.

L'auteur introduit une grandeur nouvelle, l'Ampérien, fonction scalaire, et en fait des applications à l'Électrodynamique et à la théorie de la lumière.

Théorie de l'Ampérien par R. Ferrier. Une brochure de 25 × 17 cm. de 8 pages. Edité par Marcel Hayez, Imprimeur de l'Académie Royale de Belgique, 112, rue de Louvain, Bruxelles.

L'auteur complète ses travaux antérieurs relatifs à une fonction nouvelle qu'il appelle l'Ampérien. Il en fait une application au champ moléculaire et indique quelques rapports entre sa théorie et celle des photons et des quanta.

Travaux de recherches de l'Institut polytechnique de l'Ouest de Nantes rattaché à la Faculté des Sciences de Rennes. Une brochure de 26 × 18 cm. de 88 pages, 1930. Imprimerie du Commerce, 12, rue Santeuil, Nantes.

Cet ouvrage publie un certain nombre de mémoires sur les travaux de recherches imposés aux Élèves-Ingénieurs de 4e année de l'Institut polytechnique de l'Ouest. Détermination des modules de flexion des poutres simples et composées à l'aide des effets de résonance. Mouvement d'une masse pesante suspendue à une longue lame élastique. Contribution à l'étude du frottement. Étude cinématique d'une machine à mortaiser.

Congrès. — Expositions. — Annuaires

Association française pour l'avancement des Sciences. Compte rendu de la 53e Session, le Havre 1929. Un volume 15 × 24, 750 pages, relié. Secrétariat de l'association, 28, rue Serpente, Paris (6e), et Masson et Cie 120, boulevard Saint-Germain, Paris (6e).

Cet ouvrage constitue le compte rendu habituel des sessions de cette association. Parmi les matières traitées, citons pour la section mathématiques : équations de Lagrange traitées par la théorie du corps quadratique. Points minima des surfaces réglées. Pour la section astronomie : procédé de nivellation en l'absence d'un réseau de base. Pour la section physique : étude expérimentale de la déformation du spiral. Rendement des machines thermiques. Pour la section météorologie : influence de l'atmosphère sur les ondes ultra-courtes. Les autres sections intéressées sont : géologie, Botanique, zoologie, anthropologie, médecine, électrologie, odontologie, pharmacie, psychologie, agronomie, géographie et économie politique.

Year Book of the american Institute of Electrical Engineers, 1930. Un volume relié 16 × 23, 601 pages, 7 planches photographiques, 1 carte. Edité par l'American Institute of Electrical Engineers, 33 West Thirty Ninth Street New-York.

Ce volume, luxueusement édité et précédé des photographies des principales personnalités de l'A.I.E.E. expose principalement les buts, règlements et statuts de cette Association.

Il constitue en outre une documentation détaillée sur les travaux et les publications de l'A.I.E.E. et les récompenses distribuées.

La plus grande partie de cet annuaire est constituée par la liste alphabétique des membres de l'A.I.E.E. énumérés par ordre alphabétique prise par nationalité.

IL Y A TRENTE ANS

Réunion ordinaire mensuelle du 1er Mai 1901

Des 3 membres élus dans cette séance, nous comptons encore parmi nous M. E. de Marchena.

M. de Marchena fait une communication sur *l'emploi des commutatrices pour la transformation des courants polyphasés en courants continus.*

Le conférencier étudie le rapport entre les tensions alternative et continue des commutatrices monophasées et polyphasées, quand les pièces polaires embrassent une fraction plus ou moins grande de l'induit, puis la valeur des courants circulant dans l'induit et l'échauffement de celui-ci, la réaction d'induit d'une commutatrice à courants polyphasés, le démarrage, la stabilité et la capacité de surcharge, le réglage de la tension pour une excitation compound et une excitation shunt.

Il termine en parlant des phénomènes qui accompagne le fontionnement des machines commutatrices marchant en parallèle, ou employées comme génératrices soit de courant alternatif soit des deux sortes de courants à la fois.

M. Paul Janet rappelle qu'il a montré (C. R. Ac. Sc. août 1898) la présence d'un flux tournant dans les commutatrices monophasées, lequel engendre l'ondulation de la tension recueillie aux balais.

En annexe, le bulletin contient le compte rendu de la séance du 6 mai 1901 de la 1re Section, présidée par M. Maurice Leblanc, et consacrée à la définition du coefficient d'irrégularité des machines à vapeur, ainsi qu'à la notion de l'écart angulaire maximum entre la manivelle et une manivelle idéale ayant un mouvement uniforme.

BAR-LE-DUC. — IMP. COMTE-JACQUET   *Le gérant :* Alfred Magnier.

5e série, tome I, n° 6. Juin 1931

BULLETIN DE LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DES ÉLECTRICIENS

SOMMAIRE

(1) La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses Membres dans les discussions, ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

COMPTE RENDU DES RÉUNIONS

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE

du Mercredi 22 Avril 1931

Présidence de M. H. CHAUMAT.

L'Assemblée Générale est ouverte à 20 h. 30 (1).

M. BACQUEYRISSE lit le rapport établi par les Commissaires aux Comptes. Ce rapport mis aux voix est adopté à l'unanimité.

M. Paul JANET, Directeur du Laboratoire Central et de l'Ecole Supérieure d'Electricité, donne lecture de son rapport annuel sur ces deux Etablissements.

M. GROSSELIN donne lecture du rapport du Comité d'Aminiistration

L'Assemblée générale est levée à 21 h. 15.

---

(1) Les rapports lus ou résumés en séance sont publiés *in extenso* dans le présent Bulletin.

RÉUNION ORDINAIRE MENSUELLE

du Mercredi 22 Avril 1931

Présidence de M. H. Chaumat.

La séance est ouverte à 21 h. 15.

Le procès-verbal de la précédente séance est adopté.

Il est donné connaissance des demandes d'admissions suivantes :

MM.

Aurejac (André-Antoine), élève à l'E. S. E.. Studio Hôtel, 158, rue de Paris, à Vanves (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Babaud de Monvallier (Pierre-Antoine-Martial-Gauthier), élève à l'E. S. E., 42, rue Vaneau, à Paris (7e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert

Bastide (Marcel-Emile), ingénieur des industries électromécaniques à la Société Force et Lumière (Forclum), 49, boulevard Lamouroux, à Vitry-sur-Seine (Seine). — Présenté par MM. Levasseur et Maurer.

Bellenot (Edouard-Constan-Alphonse), élève à l'E. S. E., 8, allée Venette, à Eaubonne (Seine-et-Oise). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Besson (Pierre-Antoine-Jean), ingénieur des Ponts et Chaussées, 21, rue Vauquelin, à Paris (5e). — Présenté par MM. Guilbert et Blondel.

Boileau (Charles), ingénieur, 19, rue Puget, à Nice (Alpes-Maritimes). — Présenté par MM. Grosselin et G.-E. Petit.

Bordes (Armand-Jacques), élève à l'E. S. E., 23, boulevard Brune, à Paris (14e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Bordes (Georges-Gérard-Laurent), élève à l'E. S. E., hôtel Edgar-Quinet, rue Edgar-Quinet, à Malakoff (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert

Boudon (Henri-Charles), élève à l'E. S. E., 125, avenue de Gravelle, à Saint-Maurice (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Bradfield (Geoffrey), Design Engineer, E. K. Cole Ltd Manufacturers of All-Electric Radio Sek, Southend-on-Sea, Essex, England, 161, Hainault Av. Westchff-on-Sea, Essex (England). — Présenté par MM. Rowell et Grosselin.

Brault (Raymond-Alfred-Eugène), élève à l'E. S. E., 35, rue Edgar-Quinet, à Malakoff (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Callou (Henri-Raymond), ingénieur à la Société Nord-Lumière (Le Triphasé), 3, rue de Messine, Paris (8e). Domicile : 155, rue de l'Université, à Paris (7e). — Présenté par MM. Groslier et Mouturat.

Carny (Edouard), ingénieur à la Société Nord-Lumière, 3, rue de Messine, à Paris (8e). — Présenté par MM. Groslier et Mouturat.

Cassan (Robert-Henri-René-Paul-Marie), élève à l'E. S. E., 41, boulevard Jourdan, Paris (14e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Castets (Georges-Paul), élève à l'E. S. E., 5, avenue Pasteur, à Paris (15e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Chambriard (Gustave), ingénieur à l'Omnium Lyonnais, 16, rue Flachat, à Asnières (Seine). — Présenté par MM. Guery et Sékutowicz.

Chapuis (Georges), ingénieur des Arts et Manufactures, ingénieur à la Compagnie du Gaz de Lyon, 1, avenue Berthelot, à Lyon (Rhône). — Présenté par MM. Meifredy et Rivière.

Colleie (Paul), élève à l'E. S. E., collège Japonais, 3, boulevard Jourdan, à Paris (14e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert

Compagnie Française Thomson-Houston, 173, boulevard Hausmann, à Paris (8e). — Présentée par MM. Letheule et Crémer.

Compagnie Générale de Télégraphie et de Téléphonie, 23, rue des Usines, à Paris (15e). — Présentée par MM. Dreyfus et G.-E. Petit.

Compagnon (Jean-Louis), ingénieur E. S. E. à l'Electricité d'Alep, à Alep (Syrie). — Présenté par MM. Martinel et Wattaire.

Courpron (André-Louis), élève à l'E. S. E., 158, rue de Paris, à Vanves (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Courtaux (Jacques-Georges-Charles), élève à l'E. S. E., 103, avenue Jean-Jaurès, à Aubervilliers (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Cousse (Antide-François-Elisée), élève à l'E. S. E., 2, rue Béranger, à Malakoff (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Convert (Paul), élève à l'E. S. E., 158, rue de Paris, à Vanves (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Dechet (Robert-Jean), élève à l'E. S. E., 3, rue de l'Estrapade, à Paris (5e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Delacour (André-Maxime), ingénieur à la Société Nord-Lumière, 12 *bis*, rue de Vergennes, à Versailles (Seine-et-Oise). — Présenté par MM. Groslier et Mouturat.

Derome (Jean), ingénieur à l'Electricité du Nord-Est Parisien, 270, rue de Vaugirard, à Paris (15e). — Présenté par MM. Eschwege et Feraud.

Deveze (Henri-Jean), ingénieur A. et M., élève à l'E. S. E., 2, place de la Joliette, à Marseille (Bouches-du-Rhône). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Dubedout (Pierre-Maurice), ingénieur chef d'arrondissement du matériel et de la traction à la Compagnie d'Orléans, 3, avenue Bertrand-de-Born, à Périgueux (Dordogne). — Présenté par MM. Mauduit et Cardon.

Dupaquier (Robert), ingénieur en chef des P. T. T., 104, boulevard des Belges, à Lyon (Rhône). — Présenté par MM. Delon et Rivière.

Duviol (Paul-Gustave-Joseph), chef de dépôt de 1re classe à Périgueux, Compagnie du chemin de fer P. O., 89, rue Louis-Blanc, à Périgueux (Dordogne). — Présenté par MM. Cardon et Lachaise.

Dziergowski (Maksymiljan), élève à l'E. S. E., 2, rue Béranger, à Malakoff (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Faller (Paul), ingénieur à la Compagnie des Mines de Nœux, à Nœux-les-Mines (Pas-de-Calais). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Fargeas (Lucien-Jean), sous-directeur à la Société industrielle des Téléphones, usine de câbles, quai Voltaire, à Bezons (Seine-et-Oise). Domicile : 128, boulevard Maurice-Berteaux, à Carrières-sur-Seine (Seine-et-Oise). — Présenté par MM. Durieux et Fontaine.

Ferraioli (Alfred), ingénieur Societa Idroelettrica Piemonte, Direttore tecnico Societa Industriale. Bonifiche Ed Irrigazioni, Piazza Solferino 3, à Turin (Italie). — Présenté par MM. Josse et Boulouvard.

Fischer (Jean-Ernest), élève à l'E. S. E., 158, rue de Paris, à Vanves (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Fisz (Boris), ingénieur attaché au laboratoire des recherches de la Société Industrielle des Téléphones, 18, rue d'Estrées, Paris (7e). — Présenté par MM. Malassiné et Lacroix.

Forges et Ateliers de Constructions Electriques de Jeumont (Division Appareillage), 194, avenue du Président-Wilson, La Plaine-Saint-Denis (Seine). — Présenté par MM. Rouvière et Lejeune.

Georgiades (Panos), élève à l'Institut Electrotechnique de Grenoble, chez M. Chevalier, chemin du Progrès, Bajatier Grenoble (Isère). — Présenté par MM. Grosselin et Eleftheriou.

Gerard (Pierre-Roger), élève à l'E. S. E., 39, boulevard de Magenta, à Paris (10e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Gervais (Jean-Antoine-Pierre), 2, rue Eugène-Manuel, à Lyon-Villeurbanne (Rhône). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Girard (Joseph), chef de dépôt à la S. T. C. R. P., 74, rue de Lagny, à Montreuil-sous-Bois (Seine). — Présenté par MM. Bacqueyrisse et Andriès.

Guiraud (Charles-François), fournitures et entreprises électriques, 41, rue de Billefond, à Paris (9e) — Présenté par MM Jouvion et Renard.

Guise (François). ingénieur en chef de la Société d'électrochimie d'électrométallurgie et des aciéries d'Ugine, 5, rue Favre, à Chambéry. Domicile : 1, rue de Maistre, à Chambéry (Savoie). — Présenté par MM. Bégis et Rivière.

Hignette (Jean-Jules-Alfred), licencié ès sciences, élève à l'E. S. E., 31, rue Galilée, à Paris (16e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Huqueleux (Robert-Jules), élève à l'E. S. E., à Sainte-Geneviève (Oise). — Présenté par MM. Janet et Guilbert

Journet (Fernand-Laurent), attaché au service électrique de la Compagnie des chemins de fer P. L. M., service électrique, gare de Héricy (Seine-et-Marne). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Karcher (Jean), directeur de l'usine Alsthom, à Jarville (Meurthe-et-Moselle. — Présenté par MM. Béthenod et E. Roth.

Kohn (Stéphane), élève à l'E. S. E., 16, rue Desnouettes, Paris (15e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Lallement (Georges-Gratien), élève à l'E. S. E., 26, rue de la Chapelle, à Paris (18e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Laurans (Gaston), ingénieur A. et M., élève à l'E. S. E., 2, rue Béranger, à Malakoff (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Leblanc (Pierre), licencié ès sciences, ingénieur à la Compagnie Bourguignonne de Transport d'énergie, 16, rue Chauveau-Lagarde, à Paris (8e). Domicile : 27, rue de l'Arcade, à Paris (8e). — Présenté par MM. Barrère et Rosier.

Lortholary (Isaac-Henri), élève à l'E. S. E., 2, avenue Thiers, à Limoges (Haute-Vienne). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Maigne (Robert-Emile-Marie), élève à l'E. S. E., 44, rue de Châtillon, à Rennes (Ille-et-Vilaine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Marec (Eugène), ingénieur en chef de l'Electricité du Nord-Est Parisien, 27, Grande-Rue, à Villemomble (Seine). — Présenté par MM. Eschwege et Féraud.

Martin (René-Marie-André), ingénieur à la Société Nord-Lumière, 3, rue de Messine, Paris (8e). Domicile : 11, rue de Varize, à Paris (16e). — Présenté par MM. Groslier et Mouturat.

Masselin (Albert-Armand-Paul), installateur électricien à Caen, 164, rue de Bayeux, à Caen (Calvados). — Présenté par MM. Fourcault et Grosselin.

Mathieu (Serge-Yves), élève à l'E. S. E., 70, boulevard Jean-Jaurès, à Clichy (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Mellac (André), élève à l'E. S. E., cours Victor-Hugo, à Nérac (Haute-Garonne). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Miane (Gabriel-Jean-Marie), directeur de l'entreprise de construction des réseaux électriques. Vinatier père, Miane et Vinatier fils, à Brive-la-Gaillarde. Domicile : 16, rue de la Fontaine-Bleue, à Brive (Corrèze). — Présenté par MM. Martin et Roche.

Pagh-Birk (Ivar), ingénieur à la fabrication de la Société des téléphones Ericsson, à Colombes (Seine). Domicile : 18, avenue du Progrès, à Colombes (Seine). — Présenté par MM. Grosselin et G.-E. Petit.

Peingeon (Jean-Frédéric), élève à l'E. S. E., 16, avenue Victor-Hugo, à Vanves (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Perret (Charles-Marie-Antoine), directeur du dépôt de Lyon de la Société Electro-Câble, 50, rue de l'Hôtel-de-Ville, à Lyon (Rhône). — Présenté par MM. Dumont et Rivière.

Rouffet (Noël-Armand-Pierre), élève à l'E. S. E., 109, rue Cambronne, à Paris (15e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Rouillier (Pierre-Léon), élève à l'E. S. E., 44, rue du Vivier, à Herblay (Seine-et-Oise). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Roy (Jean-André), ingénieur I. E. G. et élève à l'E. S. E., 118, rue Lafayette, à Paris (10e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Sabat Faura (Jaime), élève à l'E. S. E., C. Pujol, 12, à Barcelone (Espagne). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Sans (Jean), élève à l'E. S. E., 32, rue Boqueria, à Barcelone (Espagne). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Solente (Frédéric-Joseph), chef des services administratifs du Nord-Lumière, 60 *bis*, avenue de Breteuil, à Paris (7e). — Présenté par MM. Groslier et Mouturat.

Taton (Jean), élève à l'E. S. E., ingénieur du Génie Maritime, 191, rue de l'Université, Paris (7e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Vinatier (André), ingénieur, rue de la Fontaine-Bleue, à Brive (Corrèze). — Présenté par MM. Martin et Roche.

Waternaux (Marcel), ingénieur en chef de la Société Electrique de la Sidérurgie Lorraine, à Briey (Meurthe-et-Moselle). — Présenté par MM. Sekutowicz et Guéry.

Weihs (Karl), dessinateur d'études chez « Moteurs Drouard » (Drouard et Gillot), 252, rue Lecourbe, à Paris (15e). Domicile : 54, rue Hallé, à Paris (14e). — Présenté par MM. Drouot et Gillot.

Sans opposition de la part des Membres présents ces candidats élus membres titulaires de la Société.

M. LE PRÉSIDENT. — J'ai le pénible devoir de vous informer de la lourde perte que vient de faire la Société française des Electriciens et en même temps la Société des Ingénieurs civils de France, en la personne de Joseph BLONDIN, Directeur de la *Revue générale de l'électricité*.

BLONDIN était agrégé des sciences physiques et après douze années d'enseignement dans les lycées de Pointe à Pitre, de Cahors et d'Orléans, il occupa, pendant 28 ans, de 1895 à 1923, une chaire de professeur de Physique au lycée Rollin.

Son enseignement ne suffisait pas à une activité prodigieuse et à une curiosité scientifique des plus éveillées et clairvoyantes et, dès 1886, il rédigeait les cours professés à la Sorbonne par OSSIAN BONNET, PELLAT, Henri POINCARÉ.

Il publia de nombreux articles de vulgarisation et des articles originaux dans un grand nombre de Revues : *la Lumière électrique, L'éclairage électrique, la Revue électrique, le Journal de Physique, le Bulletin des Sciences physiques et la Revue générale de l'Electricité*.

De très grandes qualités de clarté, de précision, qui s'alliaient chez lui à de non moins brillantes qualités d'administrateur, l'appelèrent à la Direction de quelques publications scientifiques ; en particulier au *Bulletin des Sciences Physiques* de 1886 à 1890, *à l'Eclairage électrique* (anciennement *la Lumière électrique)* de 1895 à 1904, à la *Revue électrique* de 1904 à 1917.

Enfin, lorsque, sous les auspices de l'Union des Syndicats de l'Electricité, fut fondée en 1917 la *Revue générale de l'Electricité*, par la fusion de la *Revue électrique* et de la nouvelle *Lumière électrique* qui avait ressurgi, une décision unanime du Conseil d'administration appela BLONDIN à la diriger.

Vous connaissez tous la haute valeur qu'il a su donner à notre revue, qui peut se comparer aux meilleures publications spéciales de l'Etranger.

Continuateur de l'œuvre d'Hospitalier, BLONDIN s'était fait le gardien vigilant de la pureté de notre langue technique, œuvre essentielle entre toutes.

Quand une technique a un développement aussi étendu et aussi varié que la nôtre, quand le nombre de ceux qui s'en servent devient si grand dans les milieux les plus divers, des termes impropres relevant plutôt du jargon que de la langue, font leur apparition et conquièrent facilement la vogue par quelques qualités de concision ou de sonorité.

Il nous appartient de faire frein jusqu'au jour où, par suite d'accords unanimes, une expression ayant pris un sens précis, unique et bien

déterminé, il y a lieu de lui donner des lettres de naturalisation dans la langue française technique.

Blondin fut un des meilleurs soldats de cette bataille et il en est peu, parmi nous, qui ne lui doive une observation ou une remarque utiles sur l'emploi châtié des expressions ou des symboles.

Blondin laisse une œuvre considérable. Il était du commerce le plus sûr et le plus agréable et ne comptait, parmi nous, que des amis.

J'offre à Madame Blondin et à ses enfants, l'hommage de la douloureuse sympathie de tous les électriciens français et l'assurance que pas un de nous n'oubliera les services éminents qu'il a rendus à la science et à la technique de l'Electricité.

M. le Président annonce que M. Paul Janet a été nommé membre du Comité international des Poids et Mesures, en remplacement de M. Appell, et président du Comité consultatif des unités électriques et photométriques, institué auprès du Comité international.

M. Parodi présente sa communication sur : *l'Electrification des chemins de fer suédois* (1).

M. le Président Chaumat remercie M. Parodi de sa conférence si intéressante, si vivante et si pleine d'enseignements.

M. J. Rey, Président de la 6e Section de la Société des Ingénieurs Civils de France et représentant cette Société, ajoute :

Je suis heureux, Monsieur Parodi, de constater à la chaleur des applaudissements qui ont salué votre conférence, que vous avez réussi à exposer à vos auditeurs, les questions les plus difficiles avec une telle clarté, que les moins spécialisés arrivent à saisir parfaitement, le but poursuivi, les méthodes employées et les résultats obtenus.

Nous admirons en particulier, la maîtrise avec laquelle vous avez su nous montrer, dans les résultats auxquels sont arrivés les Ingénieurs d'un pays si différent du nôtre, la confirmation de ceux que vous avez obtenus vous-même.

La séance est levée à 23 heures.

---

(1) Cette communication paraîtra dans le tirage à part des conférences faites en 1930 sur la traction électrique et qui sera publiée par la Société des Ingénieurs civils de France.

RAPPORTS
PRÉSENTÉS A L'ASSEMBLÉE GÉNÉRALE
du mercredi 22 avril 1931

Rapport du Comité d'Administration

Messieurs,

Développement de notre Société. — Depuis le 1er avril 1930, nous avons accueilli 256 nouveaux membres, dont 26 Sociétés.

Nous exprimons notre vive reconnaissance à ceux de nos collègues qui poursuivent un inlassable effort pour notre recrutement: mais nous restons encore bien en arrière des Sociétés étrangères, sœurs de la nôtre.

Si nous cherchons les causes de notre infériorité numérique, nous constatons que nos sœurs sont fort aidées, d'abord par l'esprit corporatif plus développé chez elles que chez nous, puis par les avantages matériels qu'elles assurent à leurs membres. Ne pouvant transformer notre tempérament national, nous avons cherché à développer les services que nous pouvons assurer, en contre partie de la cotisation. Rappelons d'abord que le nombre de pages annuelles du bulletin, a été il y a quelques années, porté à 1300 pages au lieu de 800, alors que la cotisation, comptée en francs-or, est encore inférieure d'un cinquième à celle de 1914. Nous avons fait cette année un nouvel effort, afin de faire profiter tous nos membres de notre bibliothèque déjà riche et qui s'accroît tous les jours.

Service de la bibliothèque. — Nous avons commencé par créer un service de reproductions au photostat, de traductions, de prêts de livres, de documentation générale sur une question donnée. En second lieu depuis le 1er janvier dernier, nous avons, à la demande d'un certain nombre de nos membres, organisé un service de documentation qui tend à mériter sa qualification de rapide, en signalant les articles, une semaine environ après l'arrivée au siège, de la revue qui les contient, en quelque langue que celle-ci soit rédigée.

Nous avons divisé les matières en 11 sections et pour assurer le

service des fiches nous ne demandons que 20 francs ou 30 francs par an et par section, suivant le nombre moyen des fiches qu'elle comporte.

Nous établissons ainsi, chaque semaine, plus de 100 fiches qui, reproduites au ronéo, sont envoyées à nos 200 abonnés spéciaux. Nous sommes heureux de constater que ce service de fiches nous attire un nombre croissant de demandes de traductions ou de reproductions. Notre très actif et très dévoué bibliothécaire, M. DOIZAN, s'efforce de satisfaire à ces demandes dans les plus courts délais.

Il répond aussi à des demandes de documentation générale, qui l'obligent à des travaux de recherches souvent considérables; nos collègues peuvent ainsi, pour quelques dizaines de francs par an, qui couvrent à peine nos frais, faire l'économie de nombreux abonnements à des revues étrangères et n'engager une dépense plus importante qu'en connaissance de cause, pour obtenir l'article dont ils ont réellement besoin.

Voici les recettes faites, depuis le 1[er] janvier 1930, par ces divers services :

Documentation rapide	12 000 fr.
Documentation	10 200 fr.
Traductions	2 000 fr.
Photoscopies	1 800 fr.
Total	26 100 fr.

Participation de la Société aux travaux des divers groupements. — La situation qu'occupe notre société dans le monde des électriciens français a été, au cours de l'année, soulignée par les faits ci-après :

nous avons été sollicités, par le Comité électrotechnique français, de donner notre avis sur la définition du coefficient d'irrégularité des alternateurs;

nous avons été interrogés par le Comité Français de l'Eclairage et du chauffage sur la valeur des éclairements à adopter dans les ateliers et dans les écoles; par l'Institution of Electrical Engineers sur l'emploi du fil neutre non isolé dans les installations intérieures.

Nous avons été invités officiellement par l'Union des Syndicats de l'Electricité à nous faire représenter à toutes les séances de ses commissions qu'elle vient de reconstituer et à participer à l'organisation d'un concours d'appareils destinés à isoler un conducteur de ligne électrique tombé à terre.

Nous avons, avec cette Union, donné notre patronage à la création d'une association destinée à former les monteurs installateurs.

Enfin, M. Janet a bien voulu nous demander de nous unir au Comité Electrotechnique français en même temps qu'à la Société Française de Physique et à l'Union des Syndicats de l'Electricité pour organiser le Congrès d'Electricité de 1932, qui s'annonce comme devant constituer un succès éclatant pour notre pays.

Notre Société a pris part : à Berlin à la Conférence mondiale de l'Energie ; en Scandinavie à celles de la Commission Electrotechnique Internationale; en Suède aux expériences de la Commission Mixte Internationale des communications à longue distance sur l'influence des lignes à courant fort ; à Varsovie au Congrès international des Tramways; à Alger, aux Congrès de l'Association Française pour l'avancement des Sciences et de l'Association de la Houille Blanche.

Cette année, l'Institution of Electrical Engineers nous convie à prendre part à son meeting d'été, qu'elle fera coïncider avec les fêtes du centenaire des découvertes de Faraday.

Nous profiterons de cette occasion pour faire une proposition sur la genèse de laquelle nous devons vous donner quelques détails :

L'an dernier, à l'occasion de la réunion de la Commission Electrotechnique Internationale, M. Good, Secrétaire de la British Engineering Standards Association, avait suggéré à ses collègues la création d'un groupement international de documentation. Des fiches, établies par ce groupement, auraient été régulièrement envoyées aux électriciens de tous pays, et ceux-ci, tenus au courant de tous les travaux accomplis dans leur spécialité, auraient pu espacer les réunions de conférences internationales, lesquelles deviennent, de l'avis de tous, trop fréquentes et trop coûteuses.

L'Assemblée de Stockolm, qui en délibéra, écarta cette proposition qui aboutissait, en somme, à superposer un nouvel organisme international à tous ceux existant déjà.

M. Good fut ainsi amené à envisager la création d'un simple organisme de liaison entre les principales sociétés d'électriciens. Cet organisme se bornerait à recevoir, de chacune des sociétés affiliées, les communications faites dans leur sein et considérées par elles comme les plus intéressantes : un jury, émanation des Sociétés affiliées, ferait, parmi ces communications, une sélection au second degré : les communications retenues par lui seraient traduites et imprimées en un bulletin dans les principales langues.

M. Good a bien voulu exprimer officieusement le vœu que cet orga-

nisme soit placé sous l'égide de notre Société, considérant que Paris constitue le principal centre intellectuel du monde.

Dans une réunion du Comité d'Entente des groupements internationaux, tenue le 28 janvier 1931, M. BRYLINSKI, appuyé par M. LE MAISTRE, Secrétaire de la Commission Electrotechnique Internationale, a vivement soutenu cette proposition. Il a été décidé que le Bureau de notre Société se chargerait d'étudier la mise sur pied de l'organisme projeté et ferait une proposition ferme aux sociétés d'électriciens étrangères, à l'occasion des réunions du centenaire de Faraday en septembre prochain.

Si cette proposition reçoit l'accueil favorable que nous sommes en droit d'espérer, notre Société en retirera une confirmation certaine de son prestige à l'étranger.

Notre Ancien Président, M. PARODI, complétant l'initiative de M. BUNET, qui créa les semaines de novembre, a inauguré en 1930, en étroite collaboration avec la Société des Ingénieurs Civils de France, une série de conférences sur l'électrification des réseaux. Ses collègues français et étrangers sont venus tour à tour nous exposer ce qu'ils avaient réalisé ; toutes ces conférences seront par les soins de la Société des Ingénieurs civils de France, réunies en un volume spécial, qui sera envoyé à nos membres sur demande.

Nous comptons, en présence du succès obtenu par ces conférences, en organiser d'autres, à l'avenir.

Participation à des manifestations diverses. — Nous avons été représentés aux fêtes yougoslaves de Belgrade, au 75e anniversaire de l'Ecole Polytechnique de Zurich, aux fêtes de l'Association Electrotechnique de Tchécoslovaquie, au cinquantenaire de l'American Institute of Mecanical Engineers, à l'Exposition de Liége.

Nous n'insistons pas sur notre semaine de novembre. Des discussions fort intéressantes, en cours de publication, s'y sont déroulées et les visites gracieusement organisées par les Administrations et Sociétés amies que nous tenons à remercier une fois de plus, ont groupé un nombre croissant d'amateurs.

Membres décédés. — Depuis mars 1930, la mort nous a enlevé 8 de nos collègues, MM. DUBS, GALL, LÉPINE, NEU, RATEAU, SCHWARBERG, GÉNÉRAL SEBERT, WALDVOGEL.

Nous renouvelons à leurs familles nos plus sincères condoléances.

Distinctions honorifiques. — Nous avons eu la joie de voir entrer à l'Académie des Sciences notre Ancien Président, Président de la Commission Administrative de l'École Supérieure d'Électricité, M. Jean REY.

Depuis avril 1930, les distinctions suivantes ont été attribuées dans l'ordre de la Légion d'Honneur à des Membres de notre Société.

Commandeurs : MM. GIRARDEAU, LAURAIN H.

Officiers : MM. CARLINI, GUTTON, LEAUTE, MALEGARIE, REAU, SICARD.

Chevaliers : MM. FENOUILLET, HARLE, JUMAU, LEBLANC Maurice, LEJEUNE, LOCQUIN, PARE, TACHARD.

Enfin, l'Académie des Sciences a décerné :

le Prix Lacaze, à M. ABRAHAM ;

le Prix Lafitte, à M. JOUAUST ;

le Prix Le Chatelier, à M. BALLAY.

RAPPORT DE LA COMMISSION DES COMPTES

Messieurs,

Vous avez bien voulu dans vos réunions de janvier des dernières années, nous charger de l'examen des comptes de l'exercice 1930. Nous avons accompli cette mission et venons vous soumettre les observations qu'elle nous amène à vous présenter.

Au point de vue matériel, rien ne nous semble devoir être signalé ; les écritures sont régulièrement tenues.

Nous nous appesantirons par contre, sur certaines considérations d'ordre moral.

L'exercice financier 1930 s'était annoncé comme devant être particulièrement laborieux à équilibrer; depuis plusieurs années les dépenses allaient s'accentuant rapidement, les recettes ne suivaient la progression que de loin et, au mois d'octobre 1929 — époque du vote du budget 1930 — l'impossibilité était démontrée de présenter un budget se soldant sans perte avec les ressources habituelles ; l'effort déjà commencé pour obtenir une très importante aide extérieure, s'imposait de plus en plus ; il se poursuivit et les démarches tentées auprès de l'Etat, de la ville de Paris et auprès de l'Union des Syndicats de l'Electricité, obtinrent les résultats espérés. Le déficit attendu était, non compris ce qu'il fallait pour les achats de matériel et les dépenses de 1[er] établissement, et même en faisant entrer dans les recettes le produit escompté des subventions sur la taxe d'apprentissage, de 498 952 francs. La Société reçut la promesse de concours dont le montant total s'approchait de cette somme. D'autre part, des incidents heureux se produisaient, modifiant en bien les appréciations du début ; le déficit pour l'Ecole et le Laboratoire réunis (matériel du premier établissement non compris), s'abaissait à 327 977 82 francs (1), pour la Société Savante et les Services généraux à 30 451 89 francs ; les subventions obtenues non seulement suffisaient à couvrir la différence entre les recettes et les dépenses du budget, mais laissaient un solde plus que capable de payer les achats de matériel et les frais de premier établissement.

L'aide des pouvoirs publics sera annuelle, nous pouvons l'espérer ;

(1) Avant emploi des subventions sur la taxe.

quant au concours de l'Union des Syndicats, il est promis pour 5 années.

Dans le détail, voici les points sur lesquels nous avons à appeler votre attention.

A. — Laboratoire.

1° *Exploitation.*

Recettes. — Augmentation importante : 469 358 40 francs contre 350 000 prévus aux redevances pour essais. C'est là un des incidents heureux auxquels nous venons de faire allusion ; il tient au développement des essais de projecteurs d'automobiles.

Subventions sur taxe d'apprentissage : 174 457 46, au lieu de 190 000 attendus. Les difficultés considérables, rencontrées par les industriels pour faire admettre en exonération de la taxe leurs subventions au Laboratoire, expliquent ce fléchissement.

Dépenses. — Différence en moins de 14 000 francs au *personnel* par suite des difficultés de recrutement du personnel, qui n'ont pas permis le maintien permanent des cadres au complet.

Aux *Moteurs* : Différence en moins également, par suite de la suspension des essais d'accumulateurs de la Marine, gros consommateurs d'énergie.

Un chapitre nouveau a été créé « Contribution aux dépenses des Services généraux ». Devant l'insuffisance des revenus destinés à assurer le paiement des Services qui rayonnent sur le Laboratoire, l'Ecole et la Société Savante, une contribution a été demandée à chacun de ceux-ci pour parer à cette insuffisance (8 000 francs pour le Laboratoire).

Les variations des autres chapitres s'expliquent d'elles-mêmes ou sont la conséquence évidente des conditions économiques nouvelles (augmentation des salaires principalement).

La différence entre les recettes et les dépenses s'arrête en définitive, avant emploi des subventions sur la taxe d'apprentissage (174 457 46), à 216 039 01 francs, alors qu'elle avait été prévue devoir s'élever à 338 497 francs ; elle est comblée par les versements sur la taxe et par un prélèvement sur les sommes allouées à la Société Française des Electriciens par l'Union des syndicats.

2° *Bilan.*

Actif. — Les changements y sont peu nombreux.

Le matériel bénéficie d'acquisitions nouvelles et passe de 704 002 74 francs à 759 032 74 francs; également les constructions bénéficient des travaux de transformation des locaux exécutés dans l'année : 73 000 francs environ (307 739 30-234 940 70). La dépense de ces opérations a été acquittée presque entièrement par les Subventions de l'Union.

Passif. — Les réserves présentent :

aux souscriptions ordinaires, une augmentation de 15 000 francs provenant d'opérations terminées avec bénéfice;

à la souscription sur taxe, des versements applicables à 1931, pour un total sensiblement moindre que celui constaté pour 1930 ; 123 616,45 contre 174 457,46 francs.

A noter que ce sont là des dépôts qui attendent leur heure d'emploi.

L'excédent de l'actif sur le passif du Laboratoire, s'établit à :

1 939 083 84 francs, contre

1 571 305 99 francs en 1929

B. — ECOLE.

1° *Exploitation.*

Recettes. — Très sensible augmentation aux Recouvrements des frais d'études Section normale : 1 063 526 70 contre 900 000.

La situation au moment de l'établissement du Budget faisait craindre une diminution dans le nombre des élèves. L'événement n'a pas confirmé ces craintes. C'est encore là un des incidents heureux qui ont modifié la situation de nos finances.

Sorbonne : La diminution à ce chapitre se trouve en partie compensée par le paiement que la Sorbonne prend à sa charge de certaines dépenses qui, sans cela, viendraient par ailleurs grever le service de l'Ecole.

Fournitures : Aux recettes comme aux dépenses gros changement purement apparent : il tient à ce que dans la comptabilité les opérations ont été reportées d'une année à l'année suivante par raison de logique.

Radioélectricité : 168 878 85 contre 158 625 : diminution du nombre des élèves.

Section d'Eclairage : Il y a eu 2 sessions au lieu d'une.

Subvention de l'Etat : l'Etat nous a accordé 100 000 francs pour l'exercice 31 mars 1930 au 1er avril 1931, donc 75.000 francs pour la période janvier à décembre 1930.

Il n'y a rien à dire des autres chapitres.

Dépenses. — Le Personnel n'a pas entièrement absorbé — par suite des vacances — les ressources qui lui étaient affectées.

La consommation d'électricité a entraîné, à cause du fonctionnement plus complet de la cantine et du relèvement de l'index économique, un supplément de dépense.

Les autres chapitres n'appellent pas d'observation et, au total, le compte de l'école se solde par un déficit de 111 938 31 francs — très inférieur à celui qui figure au budget — et que couvrent facilement les subventions qu'elle a reçues.

2° *Bilan.*

Actif. — Instruments et matériel : Des achats ont été faits ou sont à faire pour un total de 40 000 francs. L'allocation pour la partie non livrée figure au passif : Provision pour matériel. Les dépenses ont été acquittées à l'aide des Subventions.

Aucun changement aux constructions.

Le portefeuille s'est augmenté des actions de la Société nouvelle inscrites jusqu'ici au bilan de la Société et qu'il a paru plus normal de porter au budget de l'Ecole. Sur ces actions, 30 représentant 30 000 francs ont été cédées aux Comités des Forges de France.

Les articles du *Passif* établis suivant les indications habituelles ne nécessitent pas d'explication.

Au total l'excédent de l'actif sur le passif s'élève à 9 871 260 32 fr. il n'était, l'an dernier, que de 8 742 259 67 francs. Différence en plus : 1 129 000 65 francs tenant, pour la presque totalité, au passage à l'Ecole des actions de la Société Nouvelle.

C. — Société savante

La Société savante a vu cette année le nombre de ses Sociétaires s'accroître d'environ 10 o/o. Il en est résulté pour son Budget un accrois-

sement de ressources (224 449 30 francs contre 205 000), qui est venu compenser l'augmentation de dépense des frais de publication.

Sur les autres points il ne s'est pas produit de changement considérable et l'année laisse un solde débiteur de 33 497 13 contre une prévision de 39 200 francs. Ce solde sera prélevé sur les réserves de la Société.

D. — Services généraux.

Le fait dominant, en ce qui concerne les Services généraux, est la constatation de l'impossibilité de subvenir dorénavant à leurs dépenses à l'aide des seuls revenus généraux ; il faut que chacun des Services particuliers de la Société auxquels les Services généraux consacrent leur temps, lui apporte sa contribution.

Recettes. — Sur les différents chapitres, il y a peu de choses à dire

Les intérêts des fonds placés sont en légère augmentation.

Les intérêts des fondations par suite des généreuses allocations de Mme Hauvette Michelin et de M. Guinochet (supplément de bourses, sont également en augmentation.

Les versements de l'Ecole pour les intérêts des avances à la Société Nouvelle — contre-partie égale aux dépenses — ne figurent que comme une opération de pure forme.

Entretien de la Bibliothèque : Il y a lieu de signaler le don de 8 000 francs provenant de la fondation Loutreuil, pour achat de livres ; une partie seulement de cette somme a été utilisée en 1930 ; le reste, 3 000 francs environ, sera dépensé en 1931.

Les prélèvements sur les subventions s'expliquent d'eux-mêmes.

Le compte se solde par un crédit de 3 045 24 francs qui représente le montant de la dépense à faire avec le don Loutreuil.

Bilan.

Actif. — Augmentation du Fonds de la Journée Pasteur 20 000 fr. Construction d'un Laboratoire affecté aux recherches sur les étalons à Malakoff,

Fonds social : Augmentation due aux causes habituelles statutaires.

Passif. — Société des Amis d'Ampère : 193 528 20 francs. Montant du dépôt fait par cette Société et qui reste à sa disposition.

2

Réserve pour Subvention de l'Union n° 1 : 122 457,99 francs. C'est le solde de la subvention 1929 applicable à l'exercice 1930.

Réserve pour Subvention de l'Union n° 2 : 301 995 francs, c'est le montant de la subvention 1930 applicable à 1931. En dehors de cette somme le Laboratoire et l'École ont reçu directement des compléments ayant la même origine et qui ont été ou seront affectés à leurs propres dépenses.

L'excédent de l'actif sur le passif est de 704 435,46 francs, il était de 1 982 554 francs fin 1929. La différence s'explique pour la plus grande partie par le passage à l'École des Actions de la Société Nouvelle.

Telles sont les observations que nous avions à présenter. Nous pouvons leur donner une conclusion rassurante. Après des vicissitudes troublantes mais grâce à des revirements favorables, grâce surtout à des concours dévoués et généreux, la Société Française des Électriciens termine l'exercice 1930 avec un patrimoine accru, puisque, en réunissant les trois excédents d'actif sur passif que nous venons d'indiquer, nous arrivons à un total de : 12 514 779,62 pour le capital de la Société, qui était seulement de 12 296 119,66 francs fin 1929.

Les Commissaires aux Comptes,

Signé : GIROUSSE, du BOUSQUET, BACQUEYRISSE.

COMPTE D'EXPLOITATION
DE LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DES ÉLECTRICIENS

EXERCICE 1930

RÉSUMÉ DE L'EXPLOITATION

	RECETTES	DÉPENSES	EXCÉDENT	
			DE RECETTES	DE DÉPENSES
Laboratoire	527.261 40	743.300 41		216.039 01
Ecole	1.508.411 98	1.620.350 79		111 938 81
Société Savante	238.701 95	272.199 08		33.497 13
Services Généraux	261.230 26	258.185 02	3.045 24	
	2.535.605 59	2.894.035 30	3.045 24	361 474 95

En plus aux dépenses : 358 429 71

EXPLOITATION 1930

Laboratoire Central d'Electricité

Budget 1930	*Recettes*		
7.903 »	Arrérages de la rente.		7.903 »
350.000 »	Redevances pour essais et étalonnements.		469.358 40
50.000 »	Subvention des P. T. T.		50.000 »
			527 261 40
338.497 »	*Déficit industriel*.	216 039 01	
746 400 »	couvert par souscriptions :		
	savoir :		
190 000 »	Par Subvention taxe. . .	174.457 46	
	Par Subventions directes Union	2.210 »	
148.497 »	Par prélèvement sur Subventions Union à S.F.E.	39.371 55	216.039 01
			743 300 41

Dépenses		Budget 1930
Personnel	466.479 45	480.000 »
Frais d'Administration :		
Frais de Bureau, correspondance et divers	13.586 86	12 000 »
Chauffage.	41.880 75	41.000 »
Eau, Electricité.	9 546 75	10.000 »
Téléphone	3.224 70	3.500 »
Comité d'éclairage.	400 »	400 »
Opérations et essais taxés :		
Moteurs.	34.618 20	40 000 »
Produits	10.312 85	10.000 »
Atelier	1.435 45	2.000 »
Déplacement du personnel.	15.737 75	10.000 »
Dépenses pour clients.	3.854 90	1.000 »
Etudes pour unités et étalons électriques.	49.758 80	50.000 »
Expériences et recherches.		5.000 »
Loyer, Impôts, Assurances.	11.227 50	8.500 »
Entretien des bâtiments	13.975 05	15 000 »
Entretien des machines et appareils. . .	6.028 75	18.000 »
Contribution aux dépenses des Services Généraux	8.000 »	
Dépenses diverses	232 65	
Amortissements { Matériel 5% environ. . . .	35 000 »	
Amortissements { Constructions 2 1/2% environ.	18 000 »	40.000 »
	743.300 41	746 400 »

Immobilisations

En dehors des opérations ci-dessus qui concernent l'Exploitation

Nous avons reçu (*voir au bilan*) :

Supplément de Subvention Salle H. T.	10.000 »
Prélevé sur subvention antérieure salle H. T. . . .	38 55
Prélevé sur subventions Union à S.F.E. :	
pour matériel	60.000 »
pour travaux.	70.798 60
Prélevé sur subvention spéciale pour travaux . . .	2.000 »

Nous avons dépensé (*voir au bilan*) :

Pour salle H. T.	38 55
Pour matériel.	60.000 »
Pour transformation des locaux.	72.798 60

École Supérieure d'Électricité

Budget 1930	*Recettes*		
	Redevances des élèves et auditeurs :		
900 000	Frais d'études, section normale	1.063.526 70	
15.000 »	Sorbonne	12 350 »	1.075 876 70
50 000 »	Fournitures diverses		400 30
90 000 »	Autographies		110 124 20
185 625 »	Radioélectricité :		
	Frais d'études		168.878 85
35.000 »	Section d'éclairage		56 384 50
50.000 »	Intérêts des fonds placés		67.820 43
5 000 »	Immeuble Malakoff :		
	Solde de la gérance		6 586 90
	Cantine et divers		18 300 10
12.000 »	Souscriptions ordinaires		2 040 »
2 000 »	Subvention Ville de Paris		2 000 »
			1 508.411 98
280.625 »	*Déficit de l'exploitation*	111.938 81	
	couvert par :		
	Subvention Etat	75 000 »	
	Subvention taxe apprentissage	5.031 80	
	Partie subvention directe de l'Union	31.907 01	
	(Subvention totale : 49.830 30).		111.938 81
1 625 250 »			1.620.350 79

Dépenses			Budget 1930
Personnel		537 848 20	548.000 »
Frais d'Administration :			
Frais de bureau, corresp. et divers		16 814 25	17.000 »
Chauffage		73 179 45	72.000 »
Eau et éclairage		19.403 02	12 000 »
Téléphone		6 724 20	6 000 »
Travaux des élèves :			
Moteurs		31.066 54	32.000 »
Produits et dépenses diverses		7 921 65	13.000 »
Atelier		33.821 08	27.000 »
Conférences, projets, examens, etc		164.897 60	186.000 »
Fournitures diverses		5 195 80	50.000 »
Autographies		109.682 30	90.000 »
Versement pour l'entretien de la bibliothèque		10 000 »	15.000 »
Sorbonne		19.757 50	17.000 »
Radioélectricité		150 477 55	161.250 »
Section d'éclairage		44 104 40	30.000 »
Impôts et assurances		93 455 50	110.000 »
Entretien des bâtiments		19 645 50	20.000 »
Entretien des machines et appareils		27 308 80	25.000 »
Reconstruction école		77 718 82	79 000 »
Versement du 10ᵉ des revenus		7 440 75	5.000 »
Cantine et divers		18.135 94	
Contribution aux dépenses des Services généraux		6.000 »	
Dépenses diverses		3 530 29	
Exposition de Liège		12 822 10	
Amortissement :			
Matériel	50.000 »		
Construction	10.000 »	60.000 »	50.000 »
Déplacements, autos, etc		63 399 55	60.000 »
		1.620.350 79	1.625.250 »

Immobilisations et emplois de fonds.

Recettes			*Dépenses*		
Solde de la subvention directe de l'Union	17.923 29	Voir au bilan	Acquisition matérielle	40.000 65	Voir au bilan
Prélèvement sur subvention Union n° 1 à SFE	22.077 30		Annuité à la Société nouvelle	3.749 67	
Prélèvement sur réserves de l'Ecole	3 749 67				

Les actions de la Société Nouvelle : 1.089.000 francs ont été passées de la Société à l'Ecole et celle-ci a cédé 30 actions au Comité des Forges.

Société Française des Électriciens.

A. — *Société savante.* — Exploitation 1930.

Budget 1930	Recettes	
205 000 »	Cotisations de l'exercice	224 449 30
5 000 »	Prélèvement sur intérêts pour part contributive de cotisations libérées dans la dépense du Bulletin	7 000 »
1.000 »	Produits du Bulletin	7 252 65
		238 701 95
39.200 »	Solde débiteur à prélever sur les réserves de la Société	33 497 13
250.200 »		272 199 08

Dépenses		Budget 1930
Frais de publication : Bulletin affranchi et annuaire	112 844 10	100.000 »
Semaine de novembre	6 978 70	7 200 »
Frais de réunions	3 217 25	4.000 »
Frais d'administration	18.999 03	18.000 »
Frais de correspondance	13 135 »	10 000 »
Personnel	112.640 »	111 000 »
Cotisations irrécouvrables	2 385 »	
Contribution aux dépenses des Services généraux	2.000 »	
	272 199 08	250 200 »

B. — *Services généraux.* — Exploitation 1930

Budget 1930	Recettes	
60 000 »	Intérêts des fonds placés	71 872 75
26.000 »	Intérêts des legs et fondations	40,084 40
67.000 »	Versement de l'école pour les intérêts des avances	66.800 »
	Contribution des divers services aux frais des services généraux	16 000 »
	Prélèvement sur subvention :	
	Union pour l'exploitation Laboratoire	39 371 55
15.000	Entretien de la bibliothèque	26.184 80
	Recettes diverses	916 76
30 600 »	Solde débiteur	
198 600 »		261 230 26

Dépenses			Budget 1930
Prélèvement sur intérêts pour Société Savante		7 000 »	5 000 »
Intérêts des bourses et fondations :			
payés	28.743 05		
à payer	11.341 35	40 084 40	26.000 »
Cotisations à Comités divers		14 552 »	15.200 »
Versement à la Société nouvelle :			
Intérêts des avances		66 800 »	67 000 »
Entretien de la Bibliothèque		24.555 55	19.000 »
Frais de représentation		3 879 »	5 000 »
Frais d'administration		10 554 92	7.000 »
Frais de correspondance		1 695 45	2 000 »
Personnel		47 292 15	50 000 »
Pension		2.400 »	2 400 »
Versement au Laboratoire sur subvention Union pour l'exploitation		39.371 55	
Solde créditeur		3.045 24	
		261 230 26	198 600 »

A et B. — *Immobilisations* (Voir au bilan)

Reçu de l'École 1/10e des revenus pour fonds social	7 440 75	Provision pour achats du fonds social	26 053 »
Cotisations libérées à porter au fonds social	11 425		
Complément Bourse Guinochet	55 000	Constitution supplément bourse Guinochet	55,000 »
Prélèvement sur subvention Union pour 1er établissem^t École et Labo	152.875 96	Versement au Labo et à l'École sur subvention Union	152 875 96
Prélèvement sur réserves de la Société pour achat fonds social 1/10e revenus de la Société	7 187 25		
Journée Pasteur comp^t de subvention	20 000	Construction d'un laboratoire des P. T. T. à Malakoff	20,000 »

Les actions de la Société Nouvelle ont été passées à l'École (1.089 600 fr.).

EXERCICE 1930

BILAN DE LA SOCIÉTÉ FRANCAISE DES ÉLECTRICIENS

1re, 2e, et 3e parties

Résultats 1929	ACTIF		
48 355 20	A. Bibliothèque et mobilier		48 355 20
10.452.718 63	B. Immeubles et constructions. . . .		10.525.517 23
5 181.773 68	C. Matériel		5 296.683 68
3.655.293 01	D. Portefeuille.		3 850.929 76
1.927.679 64	E. Caisse et Banques.		2.320.399 98
	F. Débiteurs divers :		
	Extérieurs.	401.841 71	
	Services intérieurs de la S F.E. entre eux.	8.672.085 08	
8.788.970 34	Sté Nouvelle annuités de remboursement. .	17.291 66	9 091.218 45
29 954.790 50			31.133.104 30

PASSIF			Résultats 1929
H. Avances.		509.178 95	460 254 90
I. Créanciers :			
Extérieurs.	7 372 448 52		
Services intérieurs de la S.F.E . . .	8 672.085 08		
entre eux	17.291 66	16 061.825 26	15.450.603 37
J. Amortissements :			
Portefeuille	412.191 01		
Constructions . . .	185.469 71		
Matériel.	419.572 35	1.017.233 07	916.302 50
K. Réserves.		1 030.087 40	831 510 07
4e partie. Capital		12.514 779 62	12.296.119 66
		31.133.104 30	29.954.790 50

BILAN 1930

1re Partie. — Laboratoire.

ACTIF

Résultats 1929			
	A. — Bibliothèque et Mobilier		
2.975 40	Bibliothèque		2 975 40
	B. — Constructions		
	Constructions	529 462 63	
531.739 63	Canalisations.	2 277 »	531.739 63
234.940 70	Transformation des locaux de l'école . .		307.739 30
	C. — Instruments et Matériel		
	Antérieurs.	704 002 74	
	1930 Acquisitions.	60 000 »	
		764.002 74	
704.002 74	Moins pertes.	4 970 »	759.032 74
	Salle haute tension :		
	Antérieurs.	330.204 37	
330.204 37	1930.	38 55	330.242 92
	E. — Caisse et Banque		
32 803 26	Caisse		10.312 26
640 »	Cautionnements		640 »
	F. — Débiteurs		
	Extérieurs	105 603 »	
429.726 41	Intérieurs	620.173 15	725.776 15
2.267 032 51			2.668.458 40

PASSIF

			Résultats 1929
I. — *Créditeurs*.		113 417 55	81.619 95
J — *Amortissements*			
Matériel :			
Antérieurs.	158.567 20		
1930.	35 000 »	193.567 20	158.567 20
Constructions :			
Antérieurs.	79.487 15		
1930.	18 000 »	97 487 15	79 487 15
K. — *Réserves*			
Réserve pour salle haute tension :			
Subvention Travaux publics			
et autres	475 541 »		
Moins dépenses	330 242 92	145.298 08	135.336 63
Souscriptions en réserves.		54 078 13	49.093 13
Souscriptions sur taxe d'apprentissage 1931		123 616 45	175 467 46
Souscriptions Union { N° 1			1 200 »
Souscriptions Union { N° 2.		1 910 »	
Consignation Syndicat Radioélectrique, solde.			14 955 »
		729 374 56	695.726 52

Actif	2.668 458 40
Passif	729 374 56
Excédent de l'actif	1 939 083 84 dû à la Société Française des Electriciens.

Résultats 1929	**ACTIF**		
	B. — *Immeubles.*		
1 447 406 »	Terrain Malakoff		1.447.406 »
7 997.855 30	Constructions		7.997.855 30
4.105 056 50	C. — *Instruments et Matériel*		4.144 907 15
	D. — *Portefeuille.*		
341 961 »	Fonds de réserve		341 508 40
1.139.226 »	Fonds disponibles		1.130.993 »
	Actions Société Nouvelle		1.059.000 »
	E. — *Caisse et Banques.*		
49 687 24	Caisse	42 617 34	
143 35	Cautionnement	143 35	42 760 69
	F. — *Débiteurs.*		
1.234 184 30	Intérieurs	1 371.911 93	
204 001 54	Extérieurs :		
	Divers	264.803 10	
	Annuité à Sté Nouvelle	17.291 66	1.654.006 69
16.519.521 23			17.818.437 23

PASSIF			Résultats 1929
H. — *Avances.*			
Redev. Elèves	243 470 »		
Autographies	72.404 65		
Redev. Radio	152 133 65		
Fournitures	31 980 65	499.988 95	454.294 90
I. — *Créanciers.*			
Extérieurs	117.217 22		
Intérieurs	6.680 000 »		6 781.820 62
Provisions pour matériel	35 380 »	6.832 597 22	
J. — *Amortissement des profits sur valeurs mobilières*		204 560 18	212.317 88
Amortissement du Matériel et des Constructions.			
Constructions	87.982 56		
Matériel	226 005 15	313 987 71	253.987 71
K. — *Réserve.*			
Réserve Radio		35 678 35	37.678 35
Souscription sur taxe d'apprentissage 1931		7.894 50	6.931 80
» Union		27.470 »	30.230 30
Subvention Etat 1931-32		25.000 »	
		7.947.176 91	7 777 261 56

Actif	17.818 437 33
Passif	7.947 176 91
Excédent de l'actif	9 871.260 32 dû à la Société Française des Electriciens.

3e Partie. — **Société savante et services généraux.**

Résultats 1929	ACTIF		
	A. — *Bibliothèque et mobilier.*		
3 389 80	Mobilier		3.389 80
41.990 »	Bibliothèque		41.990 »
	B. — *Immeubles.*		
240 777 »	Maison Ampère		240 777 »
	C. — *Matériel.*		
42 510 07	Fonds Journée Pasteur		62 500 87
	D. — *Portefeuille.*		
	Fonds de réserve :		
	Valeurs mobilières	222.187 83	
219.122 93	Espèces	20 666 63	242.854 46
322 705 82	Fonds disponibles		474.973 70
1.089 000 »	Actions Société Nouvelle		
543 277 26	*Legs et Fondations* (1)		601 600 20
	E. — *Caisse et Banques.*		
3 374 69	Caisse	30 770 69	
361.404 08	Crédit Lyonnais	323 327 69	
907 483 75	Crédit Commercial	1 907 205 33	
14 885 81	Chèques postaux	5 342 02	
41 30	Caisse Dépôts	41 30	
457 216 16	Libert		2 266 687 03
	F. — *Débiteurs divers.*		
12.897 14	Société Nouvelle : annuités de remboursement	17 291 66	
228.160 95	Extérieurs	14 143 95	
6.680.000 »	Avance École reconstructon	6.680 000 »	6 711.435 61
11 168.236 76			10.646.208 67

	1930	1929
(1) Legs Hughes	60.795 80	58.431 »
» Cheux	61 248 25	61.890 70
Fondation Cohen	6.356 25	6 487 50
» Joubert	11.248 46	11.088 »
» Guyau	48.672 »	51 310 »
Legs Ancel	13.549 13	43.181 06
Bourse Regnault	124.163 »	122.458 »
» Guinochet	94.603 »	38 784 »
» P. Janet	57.958 »	54.424 »
» Hauvette-Michelin	123.600 »	120.018 »
	601.600 20	543.277 26

PASSIF		Résultats 1929
H. — *Avances.*		
Cotisations anticipées	9.190 »	5.960 »
I. — *Créanciers.*		
Intérieurs	2 009 376 74	1 523 774 56
Extérieurs	232 905 55	383.388 24
Société Nouvelle pour reconstruction	6 680 000 »	6 680 000 »
Société des Amis d'Ampère	193 528 20	
J. — *Amortissement du Portefeuille.*		
Amortissement	93 923 60	98 235 33
»	113 707 23	113.707 23
K. — *Réserves.*		
Réserve générale	36 134 55	36.134 55
Réserve pour étalon de Lumière Blanche	2 651 30	16 851 30
Réserve pour concours	25 903 05	25 903 05
Subvention Laboratoire de mesures	120 000 »	100.000 »
Subvention Union N° 1	122.457 99	201 728 50
» » N° 2	301 995 »	
	9 941 773 21	9 185 682 76

Actif	10 646 208 67
Passif	9 941 773 21
Excédent de l'actif	704 435 46

4e Partie du Bilan 1930.

		Résultats 1929
CAPITAL	12 514 779 62	12.296.119 66

RAPPORT ANNUEL SUR LE LABORATOIRE CENTRAL ET L'ÉCOLE SUPÉRIEURE D'ÉLECTRICITÉ (année 1931)

par M. Paul Janet.

Directeur.

I. – Laboratoire central d'électricité.

Personnel : L'effectif du personnel technique en 1930 a été comme en 1929 de dix-sept personnes, à savoir :

le Directeur, le Sous-Directeur, le Sous-Directeur Adjoint, trois ingénieurs chefs de service, quatre ingénieurs, trois assistants, trois électriciens et un mécanicien.

La distinction que nous faisons pour la première fois entre ingénieurs chefs de service et ingénieurs montre que la stabilité de notre personnel s'est un peu augmentée.

Certains ingénieurs sont maintenant depuis un temps suffisamment long au Laboratoire pour qu'on ait pu leur confier la responsabilité complète de l'exécution de certains essais.

Cet état de chose est évidemment dû aux sacrifices consentis par la Société française des Électriciens pour l'amélioration des traitements du personnel. Il ne faudrait pas en conclure toutefois que tout a été fait dans cette voie et de nouveaux efforts seront sans doute nécessaires si on veut éviter de voir le Laboratoire retomber dans la situation fâcheuse sur laquelle j'ai cru devoir attirer l'attention dans mes précédents rapports.

Matériel : Un effort a également été fait pour l'amélioration du matériel dont nous disposons au Laboratoire pour l'exécution des essais.

Au commencement de 1930, nous ne disposions plus guère que d'appareils fatigués par un long usage. Nous nous trouvions dans cette situation vraiment paradoxale d'être forcés d'employer des appareils de qualité inférieure à celle des appareils à vérifier, et il fallait toute l'habileté expérimentale du personnel du Laboratoire pour surmonter ces difficultés.

Grâce à l'augmentation du crédit spécial inscrit au budget pour les acquisitions de matériel nous avons pu acquérir en 1930 :

un millivoltmètre à courant continu :

un voltmètre à courant continu ;

5 voltmètres à courants alternatifs avec des sensibilités comprises entre 3 V et 600 V ;

6 ampèremètres à courants alternatifs avec sensibilité de 0,5 à 10 A ;

9 wattmètres ;

un photomètre Lummer et Brodhun.

Tous ces appareils étaient destinés à remplacer des appareils existant déjà, mais trop usagés.

Nous pensons pouvoir en 1931 par une opération semblable assurer le renouvellement du matériel trop désuet.

Un certain nombre d'appareils qu'on peut considérer comme nouveaux ont été également acquis parmi lesquels il convient de signaler :

Un redresseur Cooper Hewitt pour la charge de nos accumulateurs ;

Un galvanomètre de résonance ;

Un dispositif de production de courants de fréquence musicale ;

Un galvanomètre sensible ;

Une dynamo à courant continu ;

Un dispositif à cellule photo-électrique pour spectro photomètre.

Nous avons en commande non encore livrée un dispositif spécial de réglage pour les essais en courants alternatifs.

Enfin sur la subvention accordée au Laboratoire par le Ministère des Travaux publics pour l'organisation de notre salle de haute tension nous avons passé commande pour deux résistances du modèle imaginé par M. de la Gorce, qui a fait l'objet d'une communication à l'Académie des Sciences dans sa séance du 8 décembre 1930 et dont j'ai, déjà parlé dans mon précédent rapport.

L'une de ces résistances pouvant fonctionner à 250.000 V est installée au Laboratoire; l'autre pouvant fonctionner sous 45000 V sera transportable et utilisée pour les étalonnements faits à l'extérieur de compteurs à haute tension, genre d'opération qu'on nous demande de plus en plus fréquemment.

Installations nouvelles : Nous avons maintenant terminé l'aménagement des locaux laissés libres par le départ de l'École. Il en résulte une grande amélioration dans les facilités que les divers services rencontrent pour l'exécution des essais.

Il ne faudrait pas en conclure néanmoins que le Laboratoire dispose

à l'heure actuelle de toute la place désirable. En particulier, l'exiguité des bâtiments où sont établis nos essais de haute tension nous interdit d'envisager, d'utiliser des tensions supérieures à 350 000 V.

Il nous est même impossible d'introduire dans la salle réservée à ces essais certains appareils qu'on nous demande d'éprouver. Nous sommes obligés de procéder à cette opération dans la cour ou dans une autre salle en amenant la haute tension par une ligne provisoire, ce qui n'est pas sans présenter quelques inconvénients. Du reste, la tension de 350 000 V est très insuffisante pour les besoins actuels de l'industrie. Il conviendrait déjà d'envisager la manière dont on pourrait doter le Laboratoire de l'installation de haute tension qui lui est nécessaire.

Rappelons à ce sujet que tous les Laboratoires similaires de l'étranger disposent à l'heure actuelle de un million de Volts.

Essais : Le nombre des essais s'est élevé à 2 299 contre 2 048 en 1929. Les recettes de 450 000 francs en 1929 ont été en 1930 de 470 000 fr. Nous donnons ci-dessous comme tous les ans le tableau récapitulatif de ces essais.

	1930	1929
Lampes à incandescence	550*	645**
Fers tôles	632	634
Systèmes d'éclairage divers	324	129
Haute tension	80	108
Voltmètres	75	48
Ampèremètres	144	56
Transformateurs	83	77
Piles	8	13
Résistivités — Conducteurs	56	63
Résistivités — Isolants	21	22
Compteurs divers	92	47
Machines	29	11
Wattmètres	43	30
Compteurs Ministère	5	11
Isolements	13	2
Oscillogrammes	5	9
Accumulateurs	7	5
Paratonnerres	4	5
Divers	128	133
	2299	2048

*Portant sur 1.050 lampes.
**Portant sur 1.356 lampes.

Dans le service du courant alternatif, il convient de relever de nombreux étalonnements de transformateurs de potentiel et d'intensité, des mesures de courant de fuite sur divers isolateurs suivant le degré d'humidité, la détermination du facteur de puissance d'un condensateur à azote comprimé, opération délicate (l'angle de phase étant de l'ordre de la minute) qui était faite sous 150 000 V.

A l'extérieur, nous avons eu à vérifier de nombreux compteurs placés sur les tableaux d'usine en particulier ceux de diverses sous-stations du Métropolitain. Signalons également l'étalonnement en province d'un groupe de compteurs triphasés placés dans une sous-station de transformation aérienne. La tension était de 60 000 V. L'opération était donc fort difficile, car nous ne disposons pas de transformateurs de mesure isolés pour ces tensions et qui auraient du reste eu des dimensions rendant leur transport impossible. L'installation comportait heureusement un jeu de transformateurs supplémentaires que nos ingénieurs MM. Dietsch et Guilhé ont pu utiliser comme transformateurs de mesure pour nos appareils après les avoir étalonnés, ce qui nécessitait l'installation de tout un laboratoire en plein air. Une des difficultés de ce genre d'étalonnement à haute tension réside dans l'emploi de résistances élevées qu'on peut réaliser évidemment en mettant en série des boîtes de résistance, mais qui doivent être suspendues à une grande hauteur, pour éviter le déphasage du courant provoqué par la capacité de ces résistances par rapport au sol.

C'est pour des mesures de ce genre que la résistance spéciale sans déphasage de 45 000 V, dont j'ai parlé plus haut rendra les plus grands services.

Nous ne pouvons que regretter que nos crédits ne nous aient pas permis d'en faire réaliser deux autres de façon à pouvoir dans les installations à courant triphasé réaliser un point neutre artificiel et éviter l'emploi des transformateurs.

Nous avons continué comme l'année dernière à procéder pour une grande maison de construction à la réception de tous les matériaux magnétiques dont elle faisait l'acquisition.

Le service de photométrie a fourni des lampes étalons à l'Ecole Polytechnique de Bucarest et nous avons continué l'examen des projecteurs présentés au Ministère des Travaux Publics en vue de vérifier s'ils satisfont aux conditions imposées par le code de la route.

Je rappelle que tous ces essais sont effectués dans une salle de 37 m de longueur que nous avons aménagée à Malakoff dans les locaux de l'Ecole Supérieure d'Electricité.

L'arrêté ministériel, imposant à tous les automobilistes d'être munis après le 1er avril 1931 d'appareils estampillés nous a amené un grand nombre de demandes d'essai. Malgré toute notre bonne volonté et le dévouement de M. Waguet qui dirige ce service, nous avons éprouvé beaucoup de difficultés à satisfaire ces nombreuses demandes. Certains constructeurs se sont même étonnés des délais que nous demandions pour leur donner satisfaction, mais il était impossible de faire mieux puisque nous ne disposions que d'une salle pour ce genre d'opérations auxquelles un ingénieur et un aide consacraient toutes leurs journées.

Le nombre des projecteurs ainsi essayés en 1930 a été de l'ordre de 350. Il ne faudrait pas en conclure que tous ces appareils ont été jugés dignes de recevoir l'estampille ministérielle.

Enfin nous signalons qu'il nous a été demandé fréquemment cette année l'étalonnement de shunts à courant continu pour grandes intensités.

Etudes et recherches. — Nos principales recherches sont consacrées aux unités et étalons électriques. Je rappelle que nous recevons pour ces recherches une subvention de 50.000 francs du Ministère des Postes et Télégraphes.

La plus grande partie de l'année 1930 a été consacrée à la construction de nouvelles piles étalons et à la mise au point des dispositifs au moyen desquels nous avons l'intention de procéder à la détermination de l'ohm en valeur absolue.

Comme point de départ, nous comptons utiliser une inductance et une induction mutuelle. M. Amédée Guillet a bien voulu mettre à notre disposition l'étalon d'induction mutuelle qu'il y avait réalisé il y a un certain nombre d'années. L'expérience ayant montré que cet étalon avait subi certaines avaries, il a été rebobiné de nouveau et installé dans un local spécial construit en matériaux non magnétiques à proximité de la salle mise à Malakoff à la disposition du Laboratoire pour ses recherches sur les unités.

Nous réalisons d'autre part un étalon d'inductance constitué par un enroulement porté par un cylindre de quartz dont M. Guillaume a bien voulu faire mesurer les dimensions au Bureau International des poids et mesures.

A une réunion des chefs de service de photométrie des Laboratoires officiels tenue pendant la session de la Commission d'éclairage à Bellagio, il avait été proposé que pour chercher l'origine de certaines ano-

malies dans la détermination du rapport : hefner/bougie internationale, anomalies dues sans doute aux difficultés de la photométrie hétérochrome le mode opératoire suivant serait employé pour passer des étalons primaires à filament de carbone aux étalons secondaires à filament de tungstène : un verre bleu serait intercalé entre le photomètre et la lampe à filament de carbone de façon à ce que la coloration sur la face correspondante de l'écran du photomètre fût la même que celle produite par la lampe à filament de tungstène.

La précision de la méthode dépend de celle avec laquelle on peut déterminer le coefficient de transmission du filtre placé devant une source à température de coloration donnée.

Pour se rendre compte de cette précision, il fût décidé que la Physikalisch Technische Reichsanstalt ferait circuler dans les divers laboratoires de semblables filtres et que chacun de ces établissements déterminerait le facteur de transmission par trois procédés : méthode directe, emploi du photomètre à scintillation et enfin détermination au spectro-photomètre des facteurs de transmission pour les diverses régions du spectre.

Ces filtres colorés après avoir été étudiés au National Physical Laboratory et au Bureau of Standards nous sont parvenus dans le courant de 1930. Nous avons déterminé les facteurs de transmission par les trois méthodes indiquées en utilisant pour le spectro-photomètre le dispositif à cellule dont nous avons parlé plus haut.

Ces filtres ont été envoyés à la Chambre centrale des poids et mesures à Moscou. Les résultats de ces mesures seront publiés dès que tous les laboratoires auront terminé leurs travaux.

Comité consultatif d'électricité. — Le Comité consultatif d'électricité créé par le Comité international des poids et mesures s'est réuni à Paris en juin 1930. Presque toutes les réunions se sont tenues au Laboratoire Central d'Electricité.

Le Directeur du Laboratoire Central d'Electricité a, sur la demande de M. le sénateur Volterra, président du Comité international des poids et mesures, assuré comme à la première réunion la présidence de ce Comité consultatif au sein duquel M. Jouaust représentait la France.

Relations avec le Comité Electrotechnique français et l'Union des Syndicats d'Electricité. — M. Jouaust a fait partie de la délégation française à la réunion de la Commission électrotechnique internationale en

Scandinavie et comme les années précédentes MM. JOUAUST, DE LA GORCE et DIETSCH ont collaboré aux travaux de plusieurs commissions de l'Union des Syndicats d'Electricité.

Conclusions. — On voit par ce qui précède que, grâce aux ressources nouvelles qui nous ont été libéralement accordées par l'Union des Syndicats de l'Electricité, le laboratoire a pu faire en 1930 un nouvel et important progrès : il semble être arrivé au maximum de ce qu'il peut espérer avec l'organisation actuelle ; pour aller plus loin, de profondes modifications de nos statuts sont peut-être nécessaires. Elles sont actuellement à l'étude.

II. — École supérieure d'Électricité

I. — *Nouveaux aménagements réalisés à Malakoff.*

Nous avons, au cours de l'année 1930, réalisé l'aménagement en terrains de jeux et de sports de la majeure partie de l'espace libre de notre propriété. Deux courts de tennis, un terrain de basket-ball et une plateforme permettant la pratique des sports ont été réalisés. Enfin des lignes d'arbres et quelques platebandes de gazon donneront aux parties dégagées de l'immeuble un aspect convenable.

II. — *Matériel.*

Nous n'avons pu réaliser en 1930 que quelques achats peu importants de matériel de deuxième urgence. Toutefois la Société pour favoriser le développement du haut enseignement de l'électrotechnique en France, a mis en fin d'année à notre disposition, une somme de 60.000 francs qui nous permettra d'équiper une salle de haute tension à l'école même. Je rappelle à ce sujet que les démonstrations relatives à cette importante partie de notre enseignement étaient faites jusqu'à présent au Laboratoire Central d'Electricité pour des tensions ne dépassant pas 300 000 V, et au Laboratoire Ampère pour des tensions plus élevées. L'aménagement dont il est parlé plus haut, bien que nous ne prévoyons qu'une tension de 100 000 V, nous permettra de préparer ces démonstrations par des séances préliminaires d'instruction où nos élèves pourront avoir une part plus active.

III. — *Enseignement.*

Nous avons pu cette année prendre partiellement en considération un vœu qui avait été émis par la Société amicale de nos anciens élèves, en instituant à l'Ecole un nouvel ordre de conférences portant sur l'administration des entreprises. A la vérité, les développements que nous pouvons accorder maintenant à cette matière sont modestes :

M. A. Mestre, professeur à la Faculté de droit de l'Université de Paris traite en une conférence des questions juridiques et législatives qui se rattachent à l'industrie électrique, et M. le colonel Rimailho, dont le nom est bien connu du monde industriel, consacre également une conférence à l'exposé des méthodes d'organisation des ateliers et

d'établissement de prix de revient auxquelles son nom reste attaché. Nos élèves se sont montrés très vivement intéressés par ces deux conférences que nous ne manquerons pas de développer dès que nous en verrons la possibilité.

IV. — *Promotion XXXVI (1929-1930).*

Il a été délivré à la fin de juillet 1930, 206 diplômes se répartissant comme suit :

Officiers et Ingéniers délégués par l'Etat	28
Ingénieurs des Arts et Métiers	35
Ingénieurs des Instituts Electrotechniques (Grenoble, Nancy, Toulouse)	22
Elèves étrangers diplômés d'écoles techniques supérieures	13
Licenciés ès Sciences	10
Anciens élèves de l'Ecole Polytechnique	3
Ingénieurs physiciens de l'Ecole de Physique et de Chimie industrielles	3
Ingénieurs des Arts et Manufactures	2
Ingénieurs civils de l'Institut Industriel du Nord de la France	2
Ingénieur civil des mines	1
Ingénieur de l'Ecole centrale Lyonnaise	1
Elèves reçus aux concours antérieurs et divers	27
Elèves reçus au concours de 1929	59
	206

V. — *Promotion XXXVII (1930-1931).*

La promotion en cours d'études comprend 215 élèves; en voici la composition :

Officiers et Ingénieurs délégués par l'Etat	29
Ingénieurs des Arts et Métiers (dont 1 à titre étranger)	46
Ingénieurs des Instituts Electrotechniques (Grenoble, Nancy, Toulouse)	26
Licenciés ès Sciences	18
Etrangers diplômés d'écoles techniques supérieures	9
Ingénieurs de l'Ecole centrale Lyonnaise	5
Ingénieurs civils de l'Institut Industriel du Nord de la France	5
Ingénieurs des Arts et Manufactures	3
Anciens élèves de l'Ecole Polytechnique (dont 1 à titre étranger)	2
Ingénieurs civils des mines (à titre étranger)	2

Elèves reçus au concours de 1930	56
Divers	14
	215

3 jeunes filles figurent parmi nos élèves réguliers. A ces élèves il convient d'ajouter 5 auditeurs libres qui suivent tout ou partie de notre enseignement.

VI. — *Relations de l'Ecole avec l'Université.*

Le nombre des étudiants de la Faculté des Sciences inscrits en 1929-1930 aux cours et travaux pratiques du certificat d'Electrotechnique générale, a été de 63, 15 certificats ont été délivrés en juillet et 10 en octobre. Depuis 1919, année de la création du cours, il a été délivré 207 certificats; le nombre total des inscriptions se montant à 706, on voit que nous tenons à maintenir à un niveau élevé ce certificat qui, on le sait, joint avec deux autres certificats d'études supérieures, confère le grade de licencié ès sciences.

La Faculté des sciences a, cette année, réservé sur le produit de la taxe d'apprentissage, une somme de 18.750 francs pour la chaire d'Electrotechnique générale. Ce crédit nous a permis de procéder, comme les années précédentes, à quelques achats d'appareils et de machines.

Etant donné les nouvelles règles adoptées pour le commencement de l'année budgétaire, nous ne savons pas encore de quel crédit permanent annuel, le Laboratoire annexé à la chaire d'Electrotechnique pourra être doté en 1931. Un relèvement notable de ce crédit serait d'autant plus souhaitable que les étudiants et les chercheurs commencent à se diriger vers nous, alors que nos ressources en matériel et personnel sont tout à fait insuffisantes. C'est ainsi que depuis la rentrée 1930, un de nos chefs de travaux et un des auditeurs libres de l'Ecole poursuivent à Malakoff des recherches en vue de la préparation d'une thèse de doctorat. D'autre part, dans le courant de 1930, un élève de l'Ecole Normale Supérieure a préparé dans nos Laboratoires un diplôme d'études supérieures sur la détermination des cycles d'hystérésis pour la méthode des courants alternatifs.

VII. — *Préparation militaire.*

Les cours de préparation militaire supérieure (3e groupe) ont été assurés en 1929-30 par le Chef d'escadron Pradère, sous la haute direction du Général Jouvin et du Général Hauser.

Le brevet supérieur de préparation militaire qui est la sanction de cet enseignement, permet à nos anciens élèves d'accéder au grade d'officier de réserve au cours de leur service actif.

Pendant l'année scolaire 1929-30, 73 élèves de l'Ecole ont été inscrits à ce cours, 20 ont passé le concours du brevet supérieur de préparation militaire et 9 l'ont obtenu dans des armes diverses.

VIII. — *Anciens élèves.*

Le nombre total d'anciens élèves ayant passé par l'Ecole (non compris la promotion actuelle) est de 4300, sur lesquels 3822 ont obtenu le diplôme. Ces derniers se répartissent ainsi :

Officiers et Ingénieurs de l'Etat	555
Ingénieurs des Arts et Métiers	572
Licenciés ès Sciences	445
Ingénieurs sortant d'écoles diverses (Physique et Chimie, Centrale Lyonnaise, Instituts Electrotechniques, Institut Industriel du Nord de la France, Aéronautique et Construction mécanique, etc.)	284
Elèves étrangers diplômés d'écoles techniques supérieures	217
Anciens élèves de l'Ecole Polytechnique	216
Ingénieurs des Arts et Manufactures	216
Ingénieurs civils des mines, Ponts et Chaussées, Constructions navales, Marine marchande	48
Elèves reçus aux concours et divers	1269
	3822

IX. — *Section de Radioélectricité.*

Il a été décerné à la fin de juillet 1930, 48 diplômes d'Ingénieurs radioélectriciens.

*XVI*e *session* (1930-31). — La session en cours d'études comprend 50 élèves, en voici la composition :

Officiers délégués par le Ministère de la Guerre :

Génie	2
Artillerie	1
Artillerie coloniale	2
Officiers délégués par le Ministère de l'Air	2
Ingénieur délégué par le Ministère de la Marine	1

Ingénieurs délégués par le Ministère des Postes et Télégraphes...	2
Officiers et Ingénieurs délégués par les Gouvernements étrangers (1).	18
Elèves civils (français et étrangers)........................	22
	50

Le nombre des anciens élèves brevetés et diplômés de la section de radioélectricité est de 636.

X. — *Section d'éclairage.*

La septième session de notre section d'éclairage s'est ouverte le 3 février 1930 et a été suivie par 32 élèves ; 30 ont obtenu le certificat d'études d'éclairage. Une huitième session spéciale, avec un enseignement simplifié, s'est ouverte au mois de juin 1930 et a été suivie par 16 auditeurs. Elle n'a pas donné lieu à la délivrance de certificats.

XI. — *Société amicale des ingénieurs E.S.E.*

Le nombre de nos anciens élèves inscrits à la Société Amicale continue à progresser normalement et atteint à l'heure actuelle un total de 2 215.

Tels ont été, Messieurs et chers Collègues, l'histoire et la marche du Laboratoire et de l'Ecole en 1930 ; grâce à l'importante subvention de l'Union des Syndicats de l'Electricité et a une première subvention de l'État qui, nous avons tout lieu de l'espérer, sera renouvelée les années suivantes, la crise financière qui nous préoccupait à juste titre a pu être évitée. Nous trouvons là une précieuse garantie pour l'avenir et l'assurance que les deux institutions fondées par la Société française des Electriciens continueront à progresser et à rendre les éminents services qui, dans le passé, ont constitué leur meilleur droit à l'existence.

---

(1) Classement par nationalité des délégués étrangers à la section de radioélectricité.

Afghanistan : ingénieur................	1
Belgique : officiers de l'armée de terre..........	3
Danemark : —	1
Espagne : —	1
— officiers de marine..............	2
— ingénieurs des télégraphes...........	2
Etats-Unis : officier de l'armée de terre..........	1
Pologne : officier de l'aéronautique............	1
Roumanie : officiers de l'armée de terre..........	4
Tchécoslovaquie : —	2
	18

GROUPE DU SUD-OUEST
DE LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DES ÉLECTRICIENS

Assemblée générale du 13 décembre 1930

Rapport de M. DELASALLE, *Président*

Mes chers Collègues,

Conformément à la tradition, j'ai à vous présenter à l'occasion de notre Assemblée générale et au nom de votre Comité, un rapport sur la vie de notre groupe pendant l'année qui s'achève.

Pour la deuxième fois, notre Association a eu à déplorer des deuils; trois de nos Collègues : MM. Raoul LESFARGUES, ancien élève de l'école polytechnique, ingénieur conseil et représentant de la compagnie pour la fabrication des compteurs ; COLOUBIE, administrateur délégué de la société des produits forestiers des Landes ; CHAILLOUX, ancien directeur de l'Agence de la compagnie générale d'électricité sont décédés depuis notre dernière assemblée générale.

Votre Comité a adressé aux familles de nos collègues disparus, l'expression de nos condoléances et s'est fait représenter aux obsèques.

Votre Comité estimera, je l'espère, qu'afin de perpétuer parmi nous le souvenir de ceux qui ne sont plus, le prochain annuaire pourra contenir une notice biographique sur chacun d'eux.

J'atténuerai la tristesse du début de ce rapport en vous signalant que nos Collègues MM. Fernand THIBAULT, ingénieur des Arts et Métiers, administrateur délégué des établissements DELOR et THIBAULT, inspecteur régional de l'enseignement technique; et André HARLE, ancien élève de l'école polytechnique, ingénieur-directeur de l'Association des propriétaires d'appareils à vapeur ont été nommés au grade de Chevalier dans la Légion d'honneur. Je leur ai adressé, dès leur nomination, les félicitations du Groupe. Il m'est agréable de les renouveler publiquement et d'exprimer toute la satisfaction que cette distinction a occasionnée à tous leurs amis.

Notre Collègue THIBAULT, que j'ai vu personnellement à l'œuvre depuis plus de 15 ans, est un grand travailleur, un homme actif, et

s'est dévoué à l'œuvre de l'enseignement technique; il a été très justement récompensé.

M. Harle qui dirige avec une très haute compétence et une grande amabilité les importants services qui lui sont confiés, est un technicien expérimenté et averti et ses conseils sont toujours écoutés et hautement appréciés. Tous ceux d'entre nous qui ont l'occasion d'être en rapport avec lui ne peuvent qu'applaudir à la distinction dont il vient d'être l'objet.

J'en arrive maintenant, mes chers Collègues, à l'activité de notre Groupe au cours de l'année 1930.

Au début de cette année notre effectif était de 218 membres, dont 101 adhérents à la Société française des Électriciens.

A la date d'aujourd'hui, notre effectif, compte tenu des démissions, décès et départs, et de 246 membres, dont 122 font partie de la Société française des Électriciens.

La progression que nous avions constatée l'an dernier a donc continué et vous remarquerez que cette situation favorable pour le nombre l'est aussi au point de vue financier, lorsque vous aurez entendu le rapport de notre trésorier, M. Ledieu.

Notre section pyrénéenne, grâce à l'activité de notre secrétaire-adjoint M. Ledoux, a été pour beaucoup dans l'activité de notre Groupe du Sud-Ouest et M. Grosselin, délégué général de la Société française des Électriciens s'est plu à constater encore dernièrement combien la réussite de l'ensemble était intéressante pour notre Société Mère.

Au cours de cette année, il a été donné à notre Groupe 12 conférences dont 6 à Bordeaux et 6 à Tarbes. Ainsi que je l'ai fait l'année dernière, je remercie à nouveau MM. les professeurs Camichel et Barbillion, ainsi que nos Collègues, MM. Amblard, Brisebois, Chalon, Hugon, Juppont, Kloninger, Ledoux et M. Pirraut, notre Conférencier de ce soir.

En ce qui concerne les conférences, je dois vous signaler que votre Comité s'inquiète du peu d'enthousiasme des membres du Groupe pour présenter eux-mêmes des communications. Nous savons parfaitement que tous ont leur temps très pris et que la nature même des occupations de la majorité d'entre nous, ne laisse peut être pas tous les loisirs pour préparer des travaux.

Je veux cependant attirer votre attention sur le fait qu'il n'est pas absolument nécessaire de toujours présenter des sujets d'ordre électrique. Nos préoccupations peuvent très bien s'étendre aux questions

économiques et aux industries autres que la distribution de l'énergie électrique ou la construction du matériel.

L'activité de notre Groupe doit s'affirmer par sa vie technique et je voudrais que beaucoup d'entre nous montrent sur ce point le dévouement de notre Collègue M. Ledoux, qui est toujours prêt à nous communiquer le résultat de ses recherches.

Notre fête annuelle d'hiver tenue le 25 janvier a eu le même succès que la précédente. — Vous avez été avisés qu'en 1931 la date choisie était celle du 24 janvier; nous espérons que vous viendrez encore plus nombreux que les années précédentes et je vous demande de bien vouloir, par des adhésions très prochaines, nous montrer que sur ce point comme sur les autres, vous êtes en parfait accord avec le Comité.

Ceux d'entre vous qui sont venus aux Eysies le 1er juin ont constaté combien grande avait été l'intimité de tous les Membres présents et l'intérêt que le Président de la Société française des Electriciens, M. Parodi, malgré quelques incidents de voyage, avait trouvé à ce genre de manifestation.

J'ai à vous entretenir maintenant d'une question un peu plus sérieuse; vous vous rappelez que lors de sa création, il y a six ans et demi, notre Groupe englobait la région de Toulouse; par suite de circonstances sur lesquelles je crois préférable de ne pas revenir, nos Collègues de Toulouse se sont séparés de nous en 1927 afin de créer un Groupe autonome. A la suite d'un essai qui a maintenant trois ans d'existence, la Société française des Electriciens a demandé au Groupe de Bordeaux, d'examiner avec le Président du Groupe de Toulouse dans quelles conditions on pourrait donner une vie plus intense à nos voisins du Languedoc, afin que les résultats acquis par le fonctionnement du Groupe de Bordeaux, puissent être largement appliqués à celui de Toulouse, soit en aidant celui-ci, soit en opérant une fusion.

J'ai amorcé la discussion à ce sujet avec M. Juppont, Président du Groupe de Toulouse il y a quelques jours et l'étude continuera sur ce point dans le courant du mois de janvier. Nous devons en effet, tout en déférant aux désirs de notre Société Mère, ne pas risquer de toucher aux conditions mêmes de notre fonctionnement et nous devons aussi tenir compte des questions locales et des moyens de propagande dont nous pourrions disposer depuis Bordeaux sur la région Toulousaine. La question est tout simplement ouverte, mais sa solution ne pourra être trouvée qu'après différents pourparlers que votre futur bureau aura à poursuivre.

Vous savez, mes Chers Collègues, que notre Vice-Président, M. Thierry

devenu Administrateur Délégué de l'Energie Electrique du Sud-Ouest, a maintenant quitté Bordeaux et a sa résidence normale à Paris. Bien que M. Thierry doive continuer à venir fréquemment à Bordeaux il m'a exprimé ses regrets qu'il ne lui soit plus possible de continuer à s'occuper d'une façon intime de la conduite de notre Groupe et a demandé, au moment même où la tradition devait l'appeler à prendre votre présidence, à résilier ses fonctions; je lui ai déjà exprimé, tout en le félicitant des hautes fonctions auxquelles il était appelé, les regrets que nous éprouvions nous-mêmes de ne plus le voir assister à nos séances et nous aider de ses conseils et de sa haute expérience.

Je tiens à remercier M. le Professeur Dupont, Doyen de la Faculté des Sciences pour tout l'aide qu'il a bien voulu nous apporter ainsi que le faisait son éminent prédécesseur M. le Professeur Cousin; en nommant M. le Professeur Dupont à la Présidence d'Honneur de notre Groupe, nous ne ferons que lui exprimer toute notre reconnaissance pour l'aide qu'il nous donne.

En terminant, je veux exprimer tout le plaisir que j'ai eu à collaborer avec notre Collègue Louis Rousseau, qui est un Secrétaire Général tout à fait remarquable, d'une amabilité et d'un dévouement au-dessus de tous éloges. Il est depuis bientôt quatre ans la cheville ouvrière de notre Groupe qui lui doit une bonne part de son développement. — M. Lediéu est lui aussi, un des artisans du succès et son affabilité dans les fonctions parfois difficiles de trésorier, lui a valu la très grande estime de tous.

Je souhaite, mes chers Collègues, que le bureau qui présidera au fonctionnement de notre Groupe pendant l'année 1931, continue par son activité à développer le Groupe du Sud-Ouest et à augmenter encore le rayonnement dans notre région de la Société française des Electriciens.

Composition du Bureau et du Comité du Groupe du sud-ouest de la Société Française des Electriciens

Présidents d'honneur

M. le Professeur Cousin, Doyen Honoraire de la Faculté des Sciences de Bordeaux.

M. le Professeur Dupont, Doyen de la Faculté des Sciences de Bordeaux.

Anciens Présidents

M. H. Chevallier, Contrôleur Municipal de l'Electricité, Chef des Services Gaz, Electricité, Téléphone de la ville de Bordeaux.

M. A. Delasalle, Ancien Elève de l'Ecole de Physique et Chimie, Ingénieur en Chef des Poudres (C.R.), Directeur de l'Agence du Sud-Ouest de la Société « Alsthom »

Président

M. G. Wagner, Directeur Général de la Régie Municipale du Gaz et de l'Électricité de Bordeaux

Vice-Président

M. A. Kupper, Ingénieur des Arts et Manufactures, diplômé de l'Ecole Supérieure d'Electricité, Ingénieur en Chef de l'Énergie Électrique du Sud-Ouest.

M. L. Breton, Ingénieur des Arts et Métiers, diplômé de l'École Supérieure d'Électricité, Directeur des Agences de Bordeaux et de Toulouse, des Forges et Ateliers de Jeumont.

M. F. Lecocq, Ingénieur des Arts et Métiers, diplômé de l'Ecole Supérieure d'Electricité, Directeur Général du Service d'Electrification du Département de la Gironde.

Secrétaire général

M. L. Rousseau, Ingénieur I.D.N., Directeur de l'Agence du Sud-Ouest de la Compagnie Electro-Mécanique.

Secrétaires-adjoints

M. M. Berthet, Ancien Élève de l'École de Physique et de Chimie, Ingénieur Principal de l'Agence du Sud-Ouest de la Société « Alsthom ».

M. C. Ledoux, Ingénieur Conseil (I.E.T.) Délégué du Comité du Groupe pour la Région Pyrénéenne.

Trésorier

M. C. Lediey, Ingénieur Diplômé de l'École supérieure de l'Électricité, directeur de l'agence de la Compagnie Générale des travaux d'éclairage et de force.

COMPTE-RENDU DES EXPÉRIENCES DE SKILLINGARYD (SUÈDE) SUR LA DÉTERMINATION DE L'INDUCTION MUTUELLE ENTRE DEUX LIGNES UNIFILAIRES A RETOUR PAR LE SOL (1)

par M. Leboulleux.

Ingénieur principal du Service central de la Cie du P. O.

L'auteur indique, tout d'abord, les raisons qui ont conduit l'administration des téléphones de Suède à exécuter, à Skillingaryd, une série de mesures pour la détermination du coefficient d'induction mutuelle.

Puis il décrit les dispositifs réalisés pour l'exécution des mesures et les méthodes de mesure employées.

Les résultats sont traduits sous forme de graphiques, donnés en projections, établis de manière à permettre une comparaison facile entre les résultats des mesures et les résultats des calculs qui peuvent être faits avec la formule de Pollaczek. On donne, de la même façon, la comparaison des résultats de Skillingaryd avec ceux qui ont été obtenus dans des séries de mesures antérieures réalisées en Allemagne.

Origine du Problème.

Depuis longtemps, l'étude des perturbations engendrées par les lignes d'énergie sur les lignes de télécommunication préoccupe, dans tous les pays, non seulement les administrations chargées des services téléphoniques, mais aussi les entreprises de distribution d'énergie ou de traction électrique.

Cette étude nécessite, en particulier, la détermination du coefficient d'induction mutuelle entre deux lignes unifilaires à retour par le sol.

Des développements théoriques ont été tout d'abord établis, notamment par Breisig, par Rüdenberg, et par Pollaczek. Ces différents auteurs aboutissent à des formules plus ou moins complexes, qui, toutes, font dépendre le coefficient d'induction mutuelle kilométrique, de l'écartement des deux lignes, de la conductivité moyenne apparente du sol et de la fréquence.

Ces développements théoriques partent d'hypothèses plus ou moins éloignées de la réalité :

---

(1) Communication présentée en séance publique de la Société française des Electriciens, le 7 mars 1931.

Conducteur entouré de tous les côtés par le même milieu (BREISIG).

Conducteur indéfini, placé au niveau de la surface de la terre supposée plane, et entouré par une tranchée demi-cylindrique (RÜDENBERG).

Conducteur indéfini parallèle à la surface de la terre supposée plane (POLLACZEK).

D'autre part, les simplifications introduites au cours des calculs nécessitent une vérification expérimentale des résultats trouvés.

Dans ce but, plusieurs séries de mesures ont été faites en Allemagne :

A Döberitz, terrain sablonneux.

A Oldenburg, terrain marécageux (tourbe).

A Münsingen, formation jurassique.

D'autre part, une Commission mixte internationale (C. M. I.) comprenant des représentants des administrations téléphoniques et des entreprises de distribution d'énergie ou de traction électrique, a été chargée de recueillir ou de créer la documentation expérimentale nécessaire pour l'étude des perturbations engendrées sur les lignes de télécommunication.

Les mesures faites à Münsingen, ont été validées par le 8e Comité d'Etudes de la C. M. I. en décembre 1928. Il a été admis qu'on pouvait également faire état des essais de Döberitz et d'Oldenburg.

De cet ensemble de mesures, la C. M. I. a conclu, dans sa séance du 8 avril 1929 à Paris, que la formule de POLLACZEK était celle qui correspondait le mieux avec les résultats des essais, que la conductivité moyenne apparente du sol σ paraissait liée à la fréquence f par une loi empirique de la forme.

$$\sigma = \frac{K}{\sqrt{f}},$$

la valeur de K déduite des essais de Münsingen étant :

$$K = 1{,}5.10^{-12} \quad \text{C. G. S.}$$

Ces résultats étaient considérés comme valables pour des terrains de plaine et de climat tempéré, comme on en rencontre en Allemagne et en France.

De nouveaux essais étaient jugés nécessaires, certaines constatations faites en Grande-Bretagne et en Suède ne paraissant pas cadrer d'une façon suffisante avec les résultats des mesures effectuées en Allemagne.

Telle est l'origine des essais qui ont été effectués par l'Administration des téléphones de Suède à Skillingaryd, essais qui ont été validés par le 8e Comité d'Etudes de la C. M. I., fin Octobre 1930.

DISPOSITIFS RÉALISÉS A SKILLINGARYD.

La figure 1 représente schématiquement les dispositifs réalisés sur le champ de manœuvres de Skillingaryd.

On a construit spécialement six lignes parallèles.

La ligne dite primaire dans laquelle est envoyé le courant inducteur a 7 km de longueur.

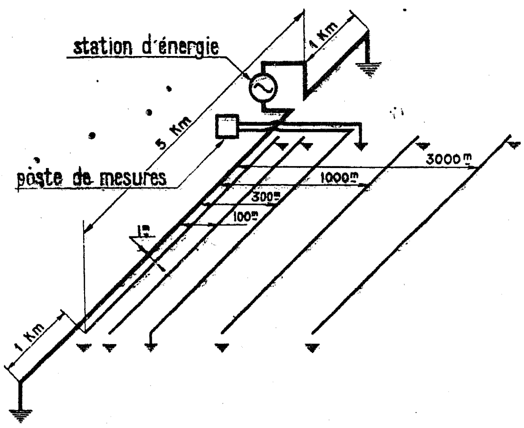


Fig 1. — Disposition schématique des lignes d'essais.

Les lignes secondaires ont 5 km; l'une d'elles est placée au-dessous de la ligne primaire et sur les mêmes appuis à 1 mètre d'écartement; les autres sont placées respectivement à des distances de :

100, 300, 1 000 et 3 000 mètres.

Les lignes peuvent être mises à la terre à chacune de leurs extrémités, les prises de terre étant constituées par du fer en rubans enterré; pendant les mesures, une seule ligne secondaire était mise à la terre.

Une ligne auxiliaire perpendiculaire à la direction des lignes d'essais permet de connecter la ligne secondaire choisie aux appareils de mesure rassemblés en un point unique.

Un groupe électrogène de 4 kW environ, associé à une batterie d'accumulateurs de 220 V et d'environ 100 ampères-heures fournissait l'énergie nécessaire aux essais. Le groupe et la batterie étaient installés sur une voiture spéciale qui comportait, également, une série de groupes moteurs-générateurs, fournissant des courants alternatifs de différentes fréquences, jusqu'à 300 p : s.

Pour les fréquences élevées de 200 à 2 000 p : s., l'appareil générateur était constitué par une machine de Franke et un amplificateur à lampes.

Ces appareils ainsi que les appareils de mesure étaient installés dans une deuxième voiture.

Ces deux voitures étaient les voitures mêmes qui avaient déjà servi pour les expériences de Münsingen.

Méthodes de mesure.

Les méthodes de mesure utilisées sont différentes suivant que l'on opère avec des fréquences basses ou avec des fréquences élevées; mais pour toutes ces méthodes, le coefficient total d'induction mutuelle M de la ligne primaire et d'une ligne secondaire est déduit de la mesure de la tension induite sur la ligne secondaire $e = M \omega I$.

a) *Méthode utilisée pour les fréquences allant de* 16 2/3 *à* 200 *p : s.*

La tension induite s'obtient en lui opposant une tension réglable à volonté en amplitude et en phase dans un circuit qui contient un ap-

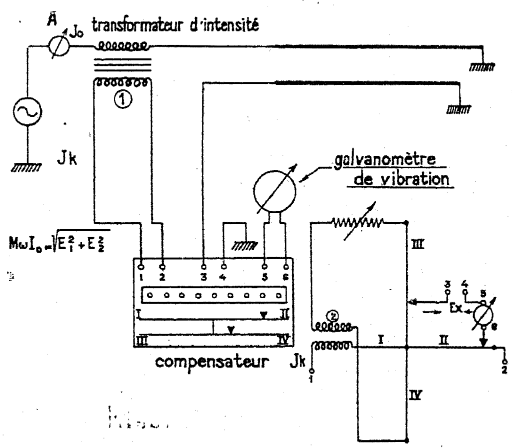


Fig. 2. — Dispositif de mesure pour les fréquences basses.

pareil de zéro, en l'espèce un galvanomètre à vibration qui est accordé à la fréquence servant aux mesures.

Cette tension variable est obtenue entre deux contacts, glissant sur deux fils présentant une chute de tension en quadrature, de l'ordre de 1 millivolt par centimètre.

Le dispositif utilisé est représenté schématiquement par la figure 2.

Le primaire d'un transformateur (1) étant parcouru par le courant J_0 de la ligne d'énergie, le secondaire alimente un circuit comprenant l'enroulement primaire d'un transformateur sans fer (2) et un fil à

contact glissant. Comme ce circuit a une très faible impédance, le transformateur (1) est presque en court-circuit et par suite son courant secondaire J_k est décalé de 180° par rapport au courant primaire J_0.

Le secondaire du transformateur (2) alimente au contraire un circuit comprenant une résistance pure très grande (et réglable) et un deuxième fil à contact glissant ; la résistance de ce circuit est si grande que ce transformateur fonctionne à vide et que, par suite, la tension prise sur le second fil est déphasée de 90° par rapport au courant J_k

Les points situés au milieu des deux fils sont connectés électriquement. Entre les deux contacts glissants, on a par conséquent une tension vectorielle dont les composantes sont arbitrairement variables. Par suite, on peut modifier à volonté l'amplitude et l'angle de phase de la tension résultante opposée à la tension induite. Au moment où le galvanomètre indique que ces deux tensions sont égales, on a :

$$M\omega I_0 = \sqrt{e_1^2 + e_2^2}$$

e_1 et e_2 étant les lectures des deux composantes.

b) *Méthode utilisée pour les fréquences variant 200 à 2 000 p : s.*

Pour les fréquences élevées, on utilise comme source de courant et comme appareil de mesure, la machine de Francke.

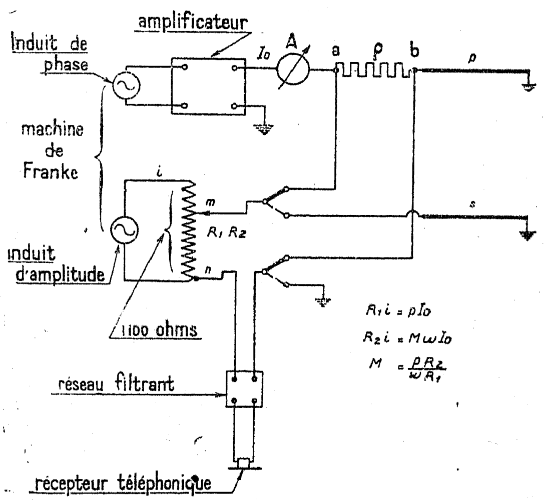


Fig. 3. — Dispositif pour les fréquences de 200 à 2 000 p : s.

Cette machine comporte un inducteur tournant alimenté en courant continu et deux induits identiques.

L'un des induits peut être plongé plus ou moins dans l'inducteur pour faire varier la valeur de sa tension (induit d'amplitude).

L'autre (induit de phase) peut être tourné par rapport à l'induit d'amplitude, pour faire varier son angle de phase.

La figure 3 indique le montage adopté.

L'induit de phase alimente la ligne primaire par l'intermédiaire d'un amplificateur qui permet d'obtenir, à toutes les fréquences, un courant I_0 d'environ 1 ampère.

Sur la ligne primaire sont insérés un ampèremètre A et une résistance ρ de valeur appropriée (Pratiquement, cette valeur, du même ordre de grandeur que le produit $M\omega$, varie entre 0,2 et 50 ohms).

L'induit d'amplitude fournit un courant i à un potentiomètre de 1 100 ohms.

La mesure de M se fait en deux temps de la façon suivante :

1° On règle l'angle de phase φ_1 des deux induits et la résistance de prise R_1 sur le potentiomètre de façon que les différences de potentiel aux bornes de la résistance de prise et de la résistance ρ soient égales et opposées dans le circuit m à bn. L'appareil de zéro qui indique cette compensation est un récepteur téléphonique muni d'un filtre qui étouffe tous les harmoniques supérieurs de la fréquence fondamentale de mesure.

On a ainsi :

$$R_1 \quad i = \rho\, I_0$$

2° On règle l'angle de phase φ_2 des deux induits et la résistance de prise R_2 de façon que les différences de potentiel aux bornes de la résistance de prise et la tension induite dans la ligne secondaire soient égales et opposées.

On a alors :

$$R_2 i = M\omega I_0,$$

d'où :

$$M = \frac{\rho R_2}{\omega R_1}.$$

Pour simplifier les calculs, on adopte pour le premier essai, une variante qui consiste à fixer R_1 à une valeur ronde (par exemple 400 ohms) et à obtenir le premier réglage en faisant varier i par déplacement de l'induit d'amplitude par rapport à l'inducteur.

c) *Méthode du compensateur de Larsen.*

Cette méthode, valable pour toutes les fréquences, devait servir de secours et de contrôle.

Le dispositif utilisé est représenté par la figure 4.

Le primaire d'un transformateur d'intensité dont le rapport de transformation k est connu, est parcouru par le courant I_0 de la ligne d'énergie; le secondaire alimente un circuit qui comporte un fil résistant à contact glissant et l'enroulement d'un variomètre.

On oppose la tension induite $M\omega I_0$ à la tension résultante provenant

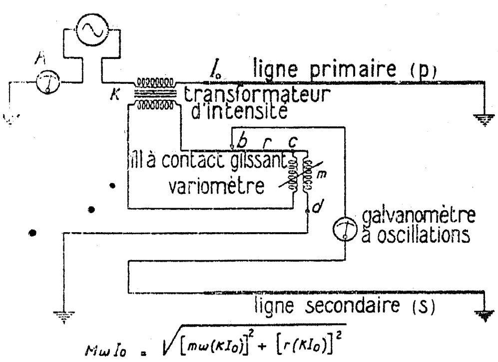


Fig. 4. — Compensateur de Larsen.

de la composition de la différence de potentiel bc aux bornes de la résistance de prise r et de la tension induite dans le second enroulement cd du variomètre. Comme cet enroulement fonctionne à vide au moment de la compensation des tensions, la tension induite est décalée de 90° sur la différence de potentiel bc. Si m est le coefficient d'induction mutuelle des deux enroulements du variomètre :

$$M\omega I_0 = \sqrt{[m\omega(kI_0)]^2 + [r(kI_0)]^2}$$

Représentation des résultats

Pour les différents écartements, les valeurs du coefficient d'induction mutuelle déduites directement des mesures sont représentées par une croix sur la figure 5.

En reliant les points ainsi déterminés, on obtient une courbe expérimentale donnant le coefficient d'induction mutuelle en fonction de la fréquence.

Pour comparer les résultats obtenus avec la théorie de Pollaczek, on a tracé en traits pleins les courbes de Pollaczek pour des valeurs convenablement choisies de la conductivité apparente du sol σ.

Ces valeurs étant assez voisines, on a tracé en traits pointillés les courbes de Pollaczek correspondant à une valeur constante de σ égale à 4.4 10^{-15} C. G. S.

Pour les hautes fréquences, on constate un accord remarquable entre la théorie et les résultats des mesures.

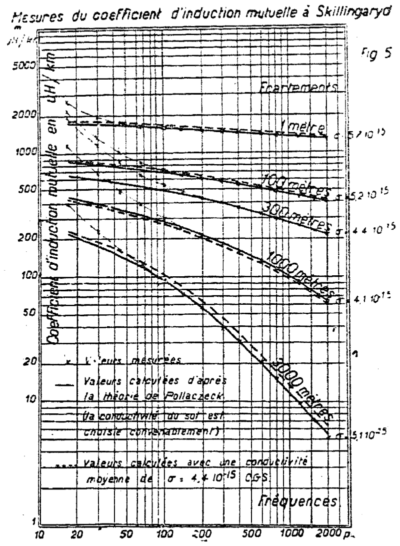
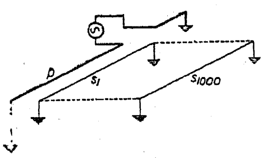


Fig. 5. — Mesures du coefficient d'induction mutuelle à Skillingaryd.

Pour les basses fréquences au contraire, la courbe expérimentale se détache nettement de la courbe théorique.



	Münsingen	Skillingaryd
1m	0,065 volt	1,23 volt
100	0,060	1,21
300	0,035	1,20
1000	0,012	0,67
3000	0,003	0,20

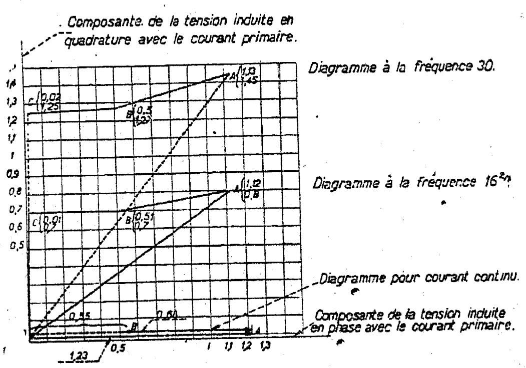


Fig. 6.

Cette divergence a été attribuée au fait que dans le circuit secondaire, une différence de potentiel dérivée par les terres à partir du cir-

cuit primaire, venait s'ajouter à la force électromotrice créée par induction électromagnétique.

Pour mettre ce fait en évidence, des mesures ont été faites en courant continu.

Le tableau reproduit sur la figure 6 indique les différences de potentiel trouvées à Münsingen et à Skillingaryd sur les différentes lignes secondaires, lorsque la ligne primaire est parcourue par un courant continu de 1 ampère.

Les valeurs obtenues sont loin d'être négligeables, surtout à Skillingaryd, bien que l'écartement des deux terres, primaire et secondaire, soit de plus d'un kilomètre, contre 500 mètres à Münsingen.

Il importe donc d'éliminer le mélange par conduction qui se produit aux basses fréquences.

Etant donnée la remarquable coïncidence des courbes théoriques et expérimentales pour les hautes fréquences, il paraît légitime d'admettre que cette coïncidence doit se pousuivre aux basses fréquences, une fois les erreurs dues aux mélanges par conduction éliminées.

Pour étayer encore plus solidement cette hypothèse on a procédé comme suit :

Soit M_1 le coefficient d'induction mutuelle de la ligne primaire p et de la ligne secondaire s_1 à retour par la terre, à l'écartement de $1m$; soit M_{1000} ce coefficient pour la ligne s_{1000} écartée de 1000 m, soit enfin M_b le coefficient d'induction mutuelle de la ligne primaire et du circuit constitué par le fil s_{1000}, le fil s_1 et deux liaisons auxiliaires perpendiculaires, ce circuit n'ayant plus aucune connexion avec la terre.

On doit avoir théoriquement $M_1 - M_{1000} = M_b$, le flux embrassé par la boucle étant la différence entre le flux embrassé par le circuit s_1 — terre et celui embrassé par le circuit s_{1000} — terre.

On a mesuré expérimentalement à Skillingaryd le coefficient M_b ou plutôt, pour diverses fréquences, la tension induite $M_b \omega I_0$ sur cette boucle et l'on a tracé une série de diagrammes tels que ceux représentés par la figure 6.

Sur ces diagrammes, le vecteur $\overline{OA}$ représente, en grandeur et en phase, la tension totale mesurée sur le circuit s_1 terre, le vecteur $\overline{BA}$ vecteur $\overline{OC}$ représente la tension induite sur la boucle S^1 S_{1000}. S'il n'y avait pas mélange par les terres, OC devrait coïncider avec OB, différence de OA et BA.

On constate au contraire que ces deux vecteurs diffèrent entre eux d'un vecteur CB, et l'on vérifie sur les diagrammes relevés que ce vec-

teur est bien en phase avec I_0 et que sa valeur absolue décroît avec la fréquence.

Pour les fréquences élevées, il n'y a plus mélange par conduction.

Enfin, depuis ses premiers travaux, M. POLLACZEK a étudié quelle devait être l'influence théorique du fait que les lignes d'essais ne sont pas de longueur infinie et sa nouvelle théorie donne en première approximation qu'il faut diminuer le coefficient d'induction mutuelle dans le rapport entre la longueur du parallélisme et la diagonale du rectangle formé par la ligne induite et sa projection sur la ligne primaire.

Cette correction appliquée au cas de la ligne secondaire écartée de 3000 mètres, ramène à $4,4 \times 10^{-15}$ la valeur moyenne de σ, qui a été adoptée par la construction des courbes en pointillé de la figure 5.

COMPARAISON AVEC LES COURBES DES DIRECTIVES.

Il convient maintenant de comparer les résultats des mesures de Skillingaryd avec les courbes théoriques données dans les directives pour la protection des lignes téléphoniques, établies par le Comité Consultatif International (C. C. I.).

La figure 7 donne, pour différentes fréquences, les courbes du coef-

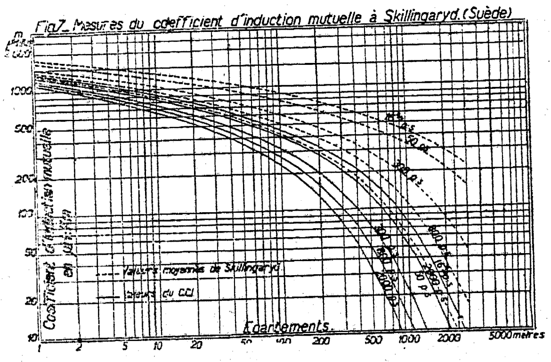


Fig. 7. — Mesures du coefficient d'induction mutuelle à Skillingaryd (Suède).

ficient d'induction mutuelle en fonction de l'écartement, telles qu'elles résultent des expériences de Skillingaryd, compte tenu des corrections que nous avons indiquées.

Sur la figure, on a tracé, en traits pleins, les courbes du C. C. I. On constate que les courbes de Skillingaryd donnent des valeurs de M nettement supérieures à celles du C. C. I. Pour mieux préciser les diver-

gences, on a indiqué sur un tableau (figure 8) le rapport entre les valeurs de Skillingaryd et celles du C. C. I. pour différentes fréquences.

Valeur du rapport

$$\frac{m \text{ (Skillingaryd)}}{m \text{ (CCI)}}$$

p:s	Ecartements en mètres.					
	1	10	100	300	1000	3000
16 2/3	1.32	1.49	1.93	2.62	5,54	25.7
50	1,29	1,45	1.92	2,67	6,47	28,9
300	1,24	1,40	1.37	2.80	8.50	22,2
800	1,21	1,34	1,83	2.81	9,00	13,2
2000	1,18	1,29	1,78	2,73	8.10	7,6

Fig. 8.

et différents écartements. La discordance, déjà très sensible pour une ligne secondaire située à 1 m de distance, devient considérable pour les grands écartements.

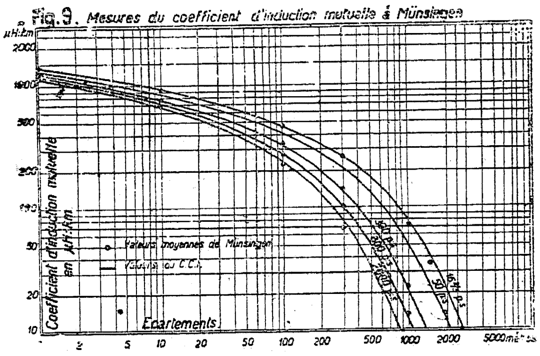


Fig. 9 — Mesures du coefficient d'induction mutuelle à Munsingen.

Pourtant les courbes du C. C. I. sont en parfait accord avec les résultats des mesures de Münsingen, comme le montre la figure 9, où les points, qui représentent les valeurs mesurées sont précisément situés sur les courbes.

Conclusion

Il appartiendra à la Commission Mixte Internationale de tirer les conclusions que comportent les expériences de Skillingaryd. M. le Professeur Pleijel a déjà formulé certaines observations sur l'influence des tronçons de la ligne inductrice adjacents au tronçon de parallélisme proprement dit, et sur le mélange pouvant dans certains cas exister entre les phénomènes d'induction électromagnétique et les phénomènes d'influence électrique.

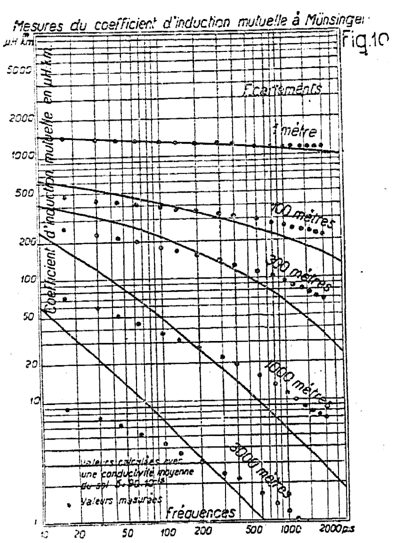


Fig. 10. — Mesures du coefficient d'induction mutuelle à Munsingen.

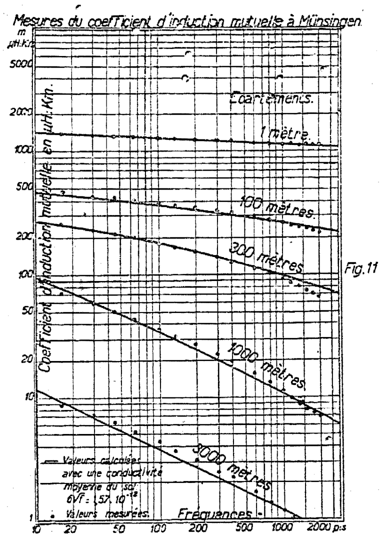


Fig. 11. — Mesures du coefficient d'induction mutuelle à Munsingen.

Quoi qu'il en soit, un fait très net paraît se dégager des mesures de Skillingaryd, c'est qu'il est impossible, même à titre d'approximation et pour une fréquence déterminée, de considérer la conductivité apparente du sol comme une grandeur définie.

Pour illustrer ce fait, il suffit de comparer :

1° la figure 5 où les courbes théoriques cadrent parfaitement avec les résultats des mesures de Skillingaryd pour une valeur de σ égale à $4{,}4.10^{-15}$ C. G. S.

2° la figure 10 où les points représentent les résultats des mesures de Münsingen et où l'on a tracé les courbes de Pollaczek avec une valeur de σ, égale à 90.10^{-15}, la discordance est flagrante.

3° la figure 11 où les points représentent toujours les résultats de

Münsingen, mais où les courbes de Pollaczek sont tracées avec une valeur de σ égale à

$$\frac{1,57\ 10^{-12}}{\sqrt{f}}.$$

La concordance est très satisfaisante, mais σ varie de 10 à 1 pour des fréquences variant de 20 à 2000 p : s.

4° La figure 12 où les points représentent les résultats de Döberitz,

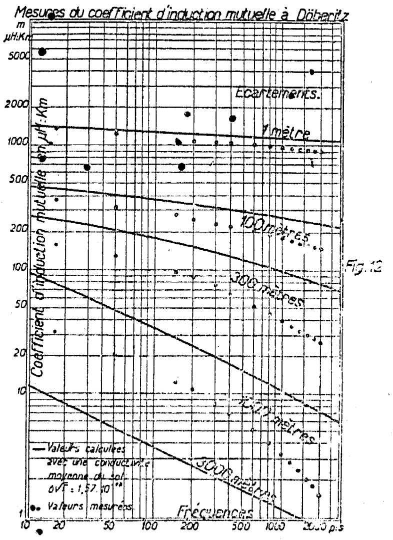


Fig. 12. — Mesures du coefficient d'induction mutuelle à Doberitz.

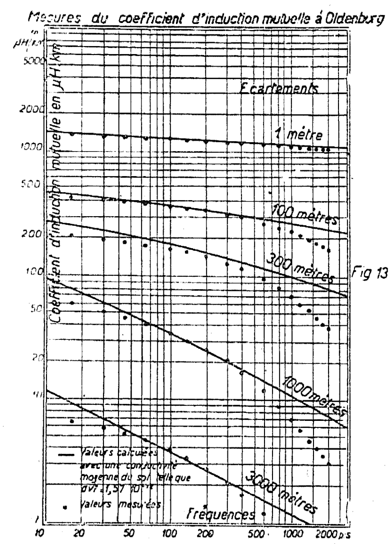


Fig. 13. — Mesures du coefficient d'induction mutuelle à Oldenburg.

les courbes étant tracées, comme précédemment, avec une valeur de σ égale à

$$\frac{1.57\ 10^{-12}}{\sqrt{f}}.$$

La concordance est loin d'être parfaite surtout pour les grands écartements.

5° La figure 13 où les points représentent les résultats d'Oldenburg, les courbes étant tracées comme pour Münsingen et Döberitz.

La concordance est meilleure qu'à Döberitz sans être aussi satisfaisante qu'à Münsingen.

Pour la fréquence industrielle de 50 périodes par seconde, σ varie de 222.10^{-15} à Münsingen, à $4,4.10^{-15}$ à Skillingaryd.

Ce résultat ne saurait surprendre un ingénieur plus habitué à exécuter des travaux de génie civil qu'à réaliser des installations élec-

triques proprement dites. Il sait fort bien que pour exécuter un ouvrage d'art, il n'emploiera pas dans les marécages d'Oldenburg, les procédés qui conviendraient sur les roches primitives de la Suède. Habitué à trouver des variations considérables dans la résistance mécanique du sol, il ne saurait s'étonner de trouver des divergences du même ordre dans la résistance électrique, ou pour mieux dire, dans la conductivité apparente.

Par suite, il lui semblerait logique de s'orienter vers la recherche de procédés de mesure permettant de déterminer aussi facilement que possible une valeur moyenne de la conductivité apparente, cadrant avec les résultats d'expériences plus complexes analogues à celles de Münsingen et de Skillingaryd. Ces procédés de mesure simplifiés permettraient de multiplier les essais et d'établir une carte représentant les variations de la conductivité du sol suivant les différentes régions. Cette carte, rapprochée des cartes géologiques, permettrait peut-être d'utiles comparaisons.

Les résultats des mesures de Döberitz, d'Oldenburg et de Münsingen sont extraits d'un rapport de l'Administration allemande des téléphones, du 18 février 1929, qui figure dans les dossiers de la C. M. I.

Les résultats des mesures de Skillingaryd se trouvent dans le compte rendu rédigé par M. Ollier, Secrétaire de la C. M. I. La plupart des figures sont d'ailleurs extraites de ce compte rendu.

NOTE DE M. BAYLE
AU SUJET DU RAPPORT DE M. DAUVILLIER (1)
SUR
LA RÉALISATION DE L'UNITÉ r INTERNATIONALE
ET L'ÉTALONNAGE ABSOLU
DES DOSIMÈTRES RADIOLOGIQUES

(*présentée au cours de la Semaine de Discussions de Novembre 1930 à la suite du Rapport de M. Pilon*)

M. Bayle. — Après avoir entendu la communication de M. Dauvilliers, soumise le 4 juin 1930, à la 6e section, sous ce titre : *La réalisation de l'unité X internationale et l'étalonnage absolu des dosimètres radiologiques*, j'ai présenté moi-même, à la même section, un mémoire, sous ce titre : *A propos de l'unité médicale de rayons X. — La création des unités physiques*, titre qu'il me faudra modifier comme suit : *La théorie mystique et la théorie positive des équations de dimensions. — Leur conflit (suite)*.

J'ai fait ce travail parce que le *Congrès international de radiologie* ayant « créé », en 1928, une unité nouvelle, l'unité de rayons X, et ayant choisi pour la dénommer le nom de Röntgen, il y avait lieu, comme il est accoutumé à la *Société des Electriciens*, d'examiner au point de vue doctrinal, si cette unité remplissait toutes les conditions exigibles d'une unité scientifique nouvelle, et s'il était opportun de la désigner par un nom spécial.

D'après la théorie positive des unités, une *nouvelle* unité scientifique doit servir à mesurer une grandeur physique de *nature nouvelle* qui, pour cette raison, n'est pas mesurable à l'aide d'une unité déjà connue et en usage.

S'il n'y a pas de grandeur nouvelle, point n'est besoin d'une unité d'espèce nouvelle. Dès lors ce qu'on appelle la « création » d'une nouvelle unité se réduit tout au plus au choix d'un multiple ou sous-multiple, décimal ou non, d'une unité usuelle ; il semble que c'est le cas de l'unité de rayons X (2).

---

(1) *Bulletin de la Société française des Electriciens*, n° 2, février 1931, p. 154.
(2) Exemple : les médecins pourraient avoir besoin d'une unité de puissance

Lorsque la grandeur physique est d'une nouvelle nature, deux cas se présentent : 1° la dimension physique de l'unité de même nature que la grandeur nouvelle est indépendante des dimensions physiques des unités L, M, T, comme dans le cas connu de l'angle [L°] ; 2° la dimension physique de cette unité dépend, ou peut dépendre des dimensions physiques des unités L, M, T (dimension dérivée). Très visiblement, dans ce cas, ce qu'on appelle la création de cette unité se réduit à la détermination de sa dimension physique, c'est-à-dire à son étalonnage, en qualité de grandeur de *nature déjà connue*, par rapport aux étalons des trois unités L, M, T.

On dit ici que cette nouvelle unité a une *équation de dimension* (au sens anglais) de la forme $L^{\alpha} M^{\beta} T^{\gamma}$, en fonction des trois unités fondamentales de la mécanique.

D'après ce qui fut dit à la 6e section, le « Röntgen » est une unité destinée à mesurer une grandeur de la nature d'une puissance mécanique de la forme :

$$e\left[\frac{F^{L}}{Q}\right] \times i\left[\frac{Q}{T}\right] = p\left[\frac{F^{L}}{T}\right]; \quad \text{(Unités arbitraires).}$$

Le Röntgen est donc une unité de même nature que la grandeur à mesurer, c'est-à-dire une puissance mécanique (1).

Toutefois il se pourrait que l'unité de volume intervint ; on aurait alors, en remplaçant comme plus haut, l'unité d'énergie (W) par le symbole de l'unité de travail (FL) :

---

adaptée à leur profession ; le cheval-vapeur ne peut pas être une unité médicale, ne serait-ce qu'à cause de son nom ; le kilo-watt ou le watt, ne conviendraient guère mieux ; une unité de puissance autre que les précédentes, de grandeur inconnue du public et dénommée Röntgen, conviendrait-elle mieux aux patients ? Ce serait alors une unité professionnelle de puissance.

(1) J'ai employé ci-dessus une écriture abrégée ; en réalité, on ne doit pas omettre le coefficient de proportionnalité k :

$$e[E] \times i[I] = k.\left[\frac{EIT}{FL}\right] \times \frac{fl[FL]}{t[T]} = k.\left[\frac{EI}{L^2MT^{-3}}\right] \times \frac{l^2 m}{t^3}\left[\frac{L^2M}{T^3}\right].$$

Expression homogène, dans laquelle le coefficient k est numériquement quelconque, lorsque les dimensions physiques des unités [E] et [I] sont arbitraires ; si les dimensions physiques des grandeurs unités [E] et [I] sont métriquement et rationnellement dérivées des grandeurs physiques unités L, M, T, on a alors :

$$k.\left[\frac{EI}{L^2MT^{-3}}\right] = k.\left[\frac{L^2MT^{-3}}{L^2MT^{-3}}\right] = k.[L^0M^0T^0].$$

Dans ce cas le coefficient a pour valeur numérique 1, et cette valeur est invariable car elle est indépendante des dimensions physiques des trois unités L, M, T.

Mais ce n'est là qu'un cas particulier ; la forme générale du coefficient est : $k[E\,I\,T\,F^{-1}\,L^{-1}]$.

C'est l'expression entre parenthèses qui est l'équation de dimension (au sens anglais) de la valeur numérique du coefficient k, valeur qui dépend, ou peut dépendre, des dimensions physiques de cinq unités irréductibles les unes aux autres, car elles sont de natures différentes.

$$e\left[\frac{FL}{Q}\right] \times i\left[\frac{Q}{TL^3}\right] = \frac{p\left[\frac{FL}{T}\right]}{1[L^3]} = p\left[\frac{F}{TL^2}\right].$$

Ce serait alors une puissance mécanique, une énergie produite par unité de temps dans l'unité de volume (1) ; cette particularité pourrait à la rigueur justifier une dénomination nouvelle ; mais la question est à examiner de près.

La communication de M. Dauvillier n'a pas été publiée (2); par contre le *Bulletin* de novembre 1930 a inséré une note de M. Pilon, sous ce titre : *Appareils de mesures dans l'industrie radiologique.*

J'ai lieu de penser que, sans l'avoir voulu, mes observations du 8 octobre, concernant la nouvelle unité de rayons X, le Röntgen, dénommée et adoptée par le Congrès international de radiologie (Stockholm, 1928), ne sont pas étrangères aux changements que je viens de signaler, changements qui, quoique légitimes, me font un peu regretter mon intervention.

Mais de toute façon, il est légitime aussi, je pense, que le *Bulletin de la Société* mentionne mon analyse de la soi-disant unité de rayons X, analyse qui montre que le Congrès de Stockholm n'a pas envisagé le problème sous toutes ses faces ; cette mention est d'autant plus nécessaire que je ne sais pas encore si mon étude sera publiée.

La conclusion de ce travail pourrait être la suivante : les arts techniques s'enrichissent d'unités industrielles, commerciales, professionnelles qui ne seront pas toutes retenues par les physiciens, en qualité d'unités scientifiques (3).

L'unité médicale de rayons X, créée par le Congrès international de radiologie paraît être une unité professionnelle d'une utilité métriquement contestable, et non une unité scientifique proprement dite.

---

(1) Attendu qu'il est visible que j'insiste peu sur la notion d'énergie, je crois bon de dire, pour éviter une observation trop facile, que j'imite de Conrard le silence prudent, de parti pris ; la parole est à ceux qui peuvent élucider la question.

(2) Nous rappelons que la communication de M. Dauvillier a été publiée depuis l'intervention de M. Bayle, dans le *Bulletin* n° 2, de février 1931.

(3) Ces divers caractères des unités sont particulièrement accusés dans la photométrie industrielle ; l'ancienne théorie des unités est ici impuissante, alors que la nouvelle théorie donne entière satisfaction ; je l'ai vérifié.

NOTE DE M. BUNET AU SUJET DE SON RAPPORT SUR LA DÉTERMINATION DES DONNÉES CARACTÉRISTIQUES DES TRANSFORMATEURS (1)

Le *bulletin* de mai dernier contient la discussion qui a lieu en novembre 1930, devant la 1re section, à la suite de mon rapport sur les données caractéristiques de transformateurs.

Faute de temps suffisant, j'ai dû écourter beaucoup la lecture de la note que j'avais préparée, et c'est ce qui a certainement empêché mes collègues de s'apercevoir d'une erreur que je découvre en lisant le *bulletin* aux pages 459 et 460, § 5.

La formule du bas de la page 459 est inapplicable dans le cas envisagé : les courants secondaires intérieurs dans deux transformateurs en parallèle à forces électromotrices légèrement différentes ne sont pas en phase avec le courant secondaire extérieur; à circuit secondaire ouvert, les courants internes secondaires ne sont pas en phase avec la différence des forces électromotrices.

Cela, quoique non spécifié explicitement est implicitement contenu dans la formule. Il en résulte que les valeurs numériques qui suivent sont inexactes. La répartition des courants et charges entre les deux transformateurs serait sensiblement meilleure que je ne l'indique.

(1) Rapport présenté au cours de la Semaine de Discussions de Novembre 1930.

TRAVAUX DES SECTIONS

COMMUNICATIONS

ACCROCHAGE A VIDE AU RÉGIME SYNCHRONE D'UN MOTEUR ASYNCHRONE A EXCITATION ROTORIQUE PAR EXCITATRICE BLONDEL A BAGUES [1]

par M. GRATZMULLER

La présente note a pour but d'expliquer très brièvement, le principe d'un accrochage au régime synchrone, en fonctionnement à vide d'un moteur asynchrone excité par un convertisseur de fréquence, genre d'excitatrice imaginée par M. BLONDEL.

Rappelons d'abord succinctement la constitution de l'excitatrice de M. BLONDEL : Elle se compose (fig. 1) d'un induit de commutatrice entouré de fer C.

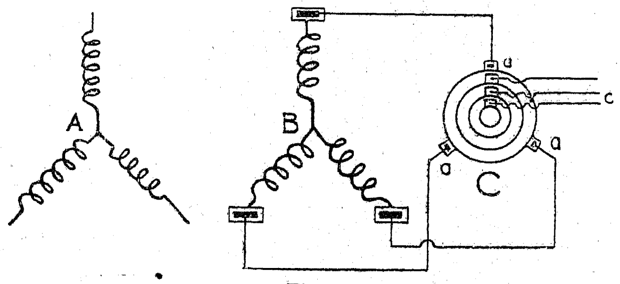


Fig. 1.

Le fer et le collecteur à lames ne sont pas représentés sur le schéma. Elle est entraînée synchroniquement avec le rotor B du moteur B, par exemple en bout d'arbre.

Les bagues, au moyen des balais *b*, servent à alimenter l'induit par

---

(1) Communication présentée à la séance du 9 avril 1931 de la 1re Section de la Société Française des Electriciens.

le réseau après transformation statique préalable. Sur les balais A du collecteur à lames, sont fermés les circuits du rotor principal B par les bagues l.

Bien entendu, le rotor C est entouré de fer qui peut être fixe ou tourner avec l'induit de commutatrice.

On sait que si le moteur tourne au synchronisme et si l'on a pris la précaution que le champ tournant produit par les courants alternatifs injectés par les bagues, tourne par rapport au rotor en sens inverse de son mouvement de rotation, le flux devient fixe dans l'espace, de sorte que les 3 balais disposés sur le collecteur recueillent 3 tensions fixes qui sont les valeurs instantanées d'un système de tensions sinusoïdales triphasées.

Si, au contraire, le moteur retarde d'un angle α dans la rotation, les balais recueillent 3 tensions qui sont les valeurs instantanées en retard de α sur les précédentes ou plus exactement de $\Delta t = \frac{\alpha}{\omega}$, ω étant la pulsation de la tension d'alimentation.

D'où résulte que le moteur glissant, les balais recueillent à chaque instant des tensions à la fréquence du glissement et que plus généralement on peut régler ces tensions, pour que, disposées aux bagues du rotor du moteur asynchrone, elles permettent de régler la vitesse et de fournir la puissance réactive absorbée par le moteur.

Fait expérimental — Le phénomène à expliquer s'est produit dans le fonctionnement à vide d'un moteur de quelques chevaux, les tensions aux balais du collecteur à lames étant réglées à peu près, afin de fournir l'excitation du moteur asynchrone, en déplaçant les balais sur le collecteur à lames, pour réduire au minimum le courant absorbé par le moteur et aussi pour s'approcher du synchronisme ; on constate qu'à un moment donné les tensions aux balais du collecteur à lames deviennent fixes. Cela signifie que le moteur tourne au synchronisme.

En freinant légèrement sur la poulie en appuyant un morceau de bois, on constatait que les tensions aux balais variaient puis, cessant le freinage, elles redevenaient fixes, parce que le moteur se raccrochait.

J'ai assisté à cette expérience il y a cinq ou six ans, et j'ai eu l'intuition devant la machine, que c'était l'hystérésis qui procurait le synchronisme.

Il est bien évident que les tensions à disposer aux bagues pour amener le moteur rigoureusement au synchronisme, peuvent être procurées par les tensions recueillies aux balais, qui seront alors continues, puisqu'on peut régler fréquence, phase et grandeur.

En effet, négligeons les fuites qui n'apportent rien d'essentiel au principe du fonctionnement envisagé, mais qui allongeraient beaucoup l'explication inutilement.

Soit (fig. 2) $O\Phi$ le flux Φ résultant, la flèche f indiquant le sens de la rotation. L'excitatrice procure le moyen d'obtenir le courant magnétisant le circuit magnétique du moteur.

Déplaçant un peu les balais sur le collecteur à lames, on peut amener les ampères-tours du rotor OA à faire un petit angle $\alpha = \Phi OA$

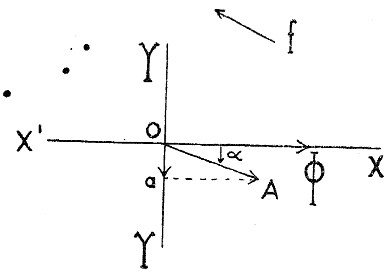


Fig 2.

avec $O\Phi$ de composante Oa suivant OY', de telle façon à procurer le couple

$$C_r = K\Phi Oa$$

K étant une constante de construction.

C_r est sensiblement égal au couple résistant.

Mais la machine est essentiellement asynchrone et pour une variation de la tension aux balais, si petite qu'elle soit, elle doit quitter le synchronisme. Or on ne peut admettre que la tension aux balais soit réglée avec une précision infinie, autrement dit une erreur nulle.

De même, on ne peut faire tenir un cône sur sa pointe (œuf de Christophe Colomb), ou immobiliser un frein de Prony, dont le centre de gravité est au-dessus de l'axe tournant, de même pour le fléau d'une balance, dont le centre de gravité est au-dessus du point de suspension, etc.

Il y a dans ces exemples équilibre instable. Pour expliquer le fonctionnement au synchronisme, il faut donc un élément stabilisateur auxiliaire. Il peut être procuré par le couple hystérétique du rotor précisément toujours de signe contraire à une rotation, éloignant le moteur du synchronisme : le couple hystérétique est soit moteur, si la vitesse tend à baisser et résistant si le moteur tend à dépasser le synchronisme.

Désignons par C_p le couple résistant dû aux pertes du moteur,

par C_h le couple hystérétique et C_a le couple asynchrone. Pour que le synchronisme soit établi, il suffit que :

$$C_a - C_h < C_r < C_a + C_h.$$

De sorte que la variation du couple compatible avec le synchronisme est $2C_h$.

Le couple hystérétique peut manifestement être remplacé par le couple d'un moteur synchrone.

Le moteur étant à vide, on comprend que quoique petit, le couple hystérétique puisse suffire.

On voit immédiatement que l'on peut obtenir le synchronisme en adjoignant au moteur asynchrone à excitation rotorique, le couple d'un moteur synchrone confondu ou distinct du moteur asynchrone.

Le principe peut, par suite, être étendu à un moteur en charge. Soit alors C_r le couple résistant, C_a le couple asynchrone, C_s le couple d'un moteur synchrone, pour obtenir le synchronisme, il suffit que l'inégalité suivante soit satisfaite :

$$C_a + C_s < C_r < C_a - C_s.$$

Mais pour que le synchronisme subsiste, le moteur ne peut être soumis qu'à un couple résistant compris entre les limites $C_a \pm C_s$.

C'est en somme ce qui est appliqué dans la synchronisation des moteurs à courant continu, munis de bagues reliées à des points équidistants du bobinage de l'induit à courant continu, soit à un enroulement triphasé distinct, disposé sur le même rotor.

Bien entendu, les points de vue appliqués à l'excitatrice Blondel, peuvent s'étendre facilement à des excitatrices à collecteur quelconque de moteurs asynchrones.

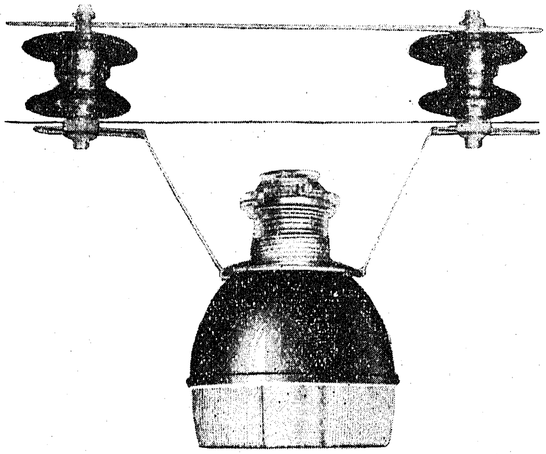
NOUVEL APPAREIL D'ÉCLAIRAGE AXIAL EN VERRE PRISMATIQUE (1)

par M. EXELMANS, *Ingénieur à la Société Holophane.*

Description. — Avantages.

Ce nouvel appareillage d'éclairage est destiné à l'éclairage axial qui, en raison des frais de pose relativement faibles qu'il entraîne, semble actuellement se répandre de plus en plus, malgré les inconvénients qu'il présente au point de vue de l'éblouissement.

La partie optique est constituée par un réflecteur en verre pris-



matique très extensif que l'on peut rendre asymétrique au moyen d'une bande ou d'un globe portant des prismes verticaux. Dans le cas où on utilise une bande, celle-ci peut être sertie sur le réflecteur de façon à faire corps avec lui.

La pièce caractéristique de cette nouvelle monture est la douille à haut isolement qui forme en même temps système de réglage. Elle est formée par une pièce en verre fileté extérieurement et portant à la partie supérieure six encoches. Dans trois d'entre elles viennent

(1) Communication présentée par M. PAGES. à la séance du 13 janvier 1931 de la 2e Section de la Société française des Electriciens.

se loger les 3 pattes d'une première pièce portant un filetage Edison ou Goliath destinée à recevoir le culot de la lampe et dans les autres les 3 pattes d'une pièce portant un filetage Edison dans lequel on visse un bouchon contenant un fusible formant le contact central. Les pattes sont en cuivre rouge écroui, très élastique, constituant de bons ressorts.

Le réflecteur est maintenu par une collerette filetée sur laquelle se visse une autre collerette munie de 2 biellettes terminées à l'extrémité par des pièces en forme d'épingle à cheveux et servant à fixer le tout, au moyen de 2 écrous, sur des tiges filetées portant les isolateurs.

La douille se visse à l'intérieur de la collerette intérieure et permet ainsi d'amener le filament de la lampe au foyer.

Le câble de suspension passe dans une fente de la tige filetée supportant les isolateurs et il est maintenu par les écrous serrant l'épingle à cheveux. Les avantages de ce dispositif sont les suivants :

1° Grande facilité pour aligner les appareils ;

2° Possibilité, par déplacement du point de serrage sur les épingles à cheveux, d'amener l'axe du réflecteur vertical ;

3° Oscillation supprimée à cause de la position des fils d'alimentation.

TRANSMISSION ÉLECTRIQUE A DISTANCE « TELECT » (1)

par M. Vassillière,

Directeur des Services électriques aux ateliers J. Carpentier.

Principe, description, emploi.

Pour transmettre à distance les indications d'un appareil de mesures quelconque, on se heurte à une sérieuse difficulté, puisque, sans modifier sa précision, il faut utiliser une fraction de son couple mécanique.

Il est assez facile de réaliser un organe léger et équilibré, sans frottements parasites, mais, dans ce cas, les circuits électriques provoquent des réactions électrodynamiques suffisamment élevées, pour que le couple nécessaire soit supérieur au couple total de l'appareil de mesures.

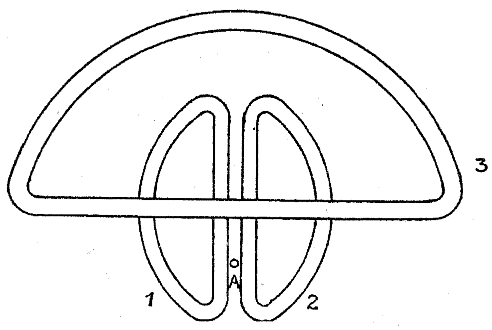


Fig. 1.

Le dispositif « Télect » imaginé par M. Soldadié, Ingénieur aux Ateliers J. Carpentier, neutralise par construction les réactions électrodynamiques des bobinages, quelles que soient leurs positions respectives.

La figure 1 le représente schématiquement :

Sur l'axe A, sont fixés deux bobinages mobiles 1 et 2 ; le bobinage 3

(1) Communication faite le 5 mars 1931 à la 6e Section de la Société française des Electriciens.

est fixe, les formes de ces bobinages sont telles qu'elles compensent les réactions électrodynamiques ; les bobinages 1 et 2 pourraient être fixes et le bobinage 3 mobile.

Le montage théorique du dispositif de transmission est représenté par la figure n° 2.

Le bobinage 3 est alimenté par une source alternative, qui est la même que celle alimentant le circuit d'excitation du logomètre récepteur 6.

Si les bobinages mobiles 1 et 2 tournent d'un certain angle dans

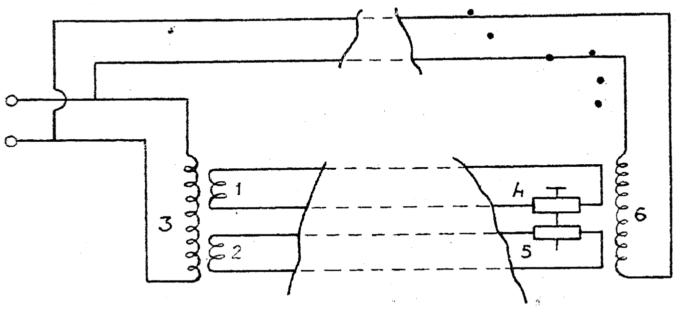


Fig. 2.

un champ créé par 3, il y a naissance d'un courant qui vient alimenter les cadres 4 et 5 du logomètre récepteur, et ces cadres dévient du même angle que l'organe transmetteur.

Les bobinages 1, 2 et 3 de l'organe transmetteur se montent sur l'axe de l'appareil de mesure.

Description des appareils. — Le transmetteur se compose, en principe, d'un électro-aimant alimenté en courant alternatif ; il induit dans les deux bobinages solidaires, et de forme spéciale (1 et 2), des forces électromotrices. La valeur des f. é. m. induites dépend de la position respective de l'électro-aimant par rapport aux deux bobinages, c'est-à-dire de la position du transmetteur.

La forme des bobinages est prévue pour répondre aux deux conditions suivantes :

a) le rapport E_1/E_2 des f. é. m. induites par l'électro-aimant est fonction directe des valeurs du déplacement à transmettre ;

b) la réaction de l'un des bobinages sur l'électro-aimant est, quelle que soit la transmission du transmetteur, égale et de signe contraire à la réaction de l'autre bobinage.

Si Φ_1 et Φ_2 désignent les flux embrassés par chacune des bobines ; r_1 et r_2 les résistances des circuits de chaque bobine ;

et d, le déplacement angulaire à transmettre, on peut exprimer les deux conditions énoncées sous la forme suivante :

$$\frac{E_1}{E_2} = f(d) = \frac{\Phi_1}{\Phi_2}. \qquad (1)$$

$$\frac{E^2_1}{r_1} + \frac{E^2_2}{r_2} = k \qquad \text{où} \qquad \left(\frac{\Phi^2_1}{r_1} + \frac{\Phi^2_2}{r_2}\right) = \text{constante}. \quad (2)$$

Le récepteur-logomètre (1), permet la mesure du rapport de deux tensions et comporte à cet effet un équipage double dont chacun des cadres est connecté aux bornes des f. é. m. à comparer.

Nous rappellerons que les f. é. m. sont amenées au cadre par de minces rubans d'argent sans force directrice. Les noyaux situés à l'intérieur de chacun des cadres présentent un profil spécial, qui est conçu suivant la loi de déviation que l'on veut réaliser.

L'équipage mobile est placé dans le champ d'un électro-aimant alimenté par la même source de courant que le transmetteur, et les deux noyaux sont disposés de façon que les champs électro-magnétiques dans lesquels ils sont placés, subissent des déformations de sens inverse.

L'addition, la soustraction, le rapport de deux variables, se transmettent très simplement à distance :

— Pour additionner les indications de deux postes, les deux transmissions « Télect » sont branchées en série;
(total des débits de fluides de plusieurs canalisations, totalisation des indications de plusieurs wattmètres, etc...)

— Pour retrancher les indications de deux postes, les bobinages sont encore montés en série, mais inversés ;
(différence de deux niveaux, puissance absorbée, etc...)

— Dans le cas de la mesure d'un rapport, les postes sont montés en parallèle et les connexions inversées dans le sens désiré ;
(rendements, etc...)

Il faut que la source d'alimentation des transmetteur et récepteur soit la même ; toutefois, elle peut être, en ces points, de tension différente.

Une commutatrice ou tout autre groupe convertisseur analogue ne conviendrait pas comme source d'alimentation, car les tensions ne sont plus en phase.

La source alimentant le « Télect » peut, dans le cas de totalisation d'indications, être une source auxiliaire, et elle peut être totalement

(1) Communication de M. Jules Carpentier (mars 1911) à l'Académie des Sciences.

indépendante de celle alimentant les appareils de mesure proprement dits

On peut également relier plusieurs récepteurs à un seul transmetteur, et indiquer ainsi en plusieurs endroits la valeur de la quantité mesurée.

Le dispositif de transmission « Telect », permet d'autre part d'amplifier les lectures de l'appareil de mesure dans la partie utile du cadran ou de rendre la graduation proportionnelle à la quantité mesurée (ampèremètres et voltmètres à courant alternatif, compteurs de vapeur), et de rendre de cette façon les enregistrements planimétrables.

Dans le cas d'indicateurs de niveau, l'absence de couple de réaction, qui permet l'emploi de flotteurs de petites dimensions, et la grande sensibilité de la transmission « Télect » font qu'elle se prête à l'indication de faibles dénivellations.

Il est possible, par une forme appropriée des bobinages du transmetteur, de graduer l'indication de niveau en volume d'un réservoir, et d'obtenir une graduation proportionnelle, alors même que la section du réservoir est une fonction de la hauteur.

Comme on le voit, de nombreuses combinaisons de télémétrie sont, grâce au « Télect », possibles.

TRAVAUX DES SECTIONS

EXTRAITS DES PROCÈS-VERBAUX

1re SECTION. — PRODUCTION ET UTILISATION MÉCANIQUE DE L'ÉLECTRICITÉ

Président : M. Darrieus.

Séance du 8 janvier 1931. — Analyse d'une communication de M. D. B. Hoseason, à l'Institution of Electrical Engineers, sur le *Refroidissement des machines électriques*, par M. P. Bunet.

Dans le *sommaire*, on pose l'équation du refroidissement à l'air

$$\theta_t = \theta_g + \theta_s + \theta_m$$

qui, selon l'auteur, est la clef de l'étude rationnelle des machines en ce qui concerne leur refroidissement, où θ_t est l'échauffement du point chaud, θ_g la différence de température entre ce point chaud et les surfaces refroidies sur lesquelles s'écoule l'air, θ_s la différence de température entre ces surfaces et l'air et θ_m l'échauffement de l'air de refroidissement.

Dans l'*introduction*, on donne notamment un tableau général comparatif des règles anglaises, américaines et allemandes, relatives à l'échauffement des machines électriques.

« Deux lignes d'attaque sont ouvertes au constructeur pour de nouvelles réductions des dimensions des machines ». Dans la première, des procédés d'isolement peuvent être développés, qui permettraient de plus hautes limites de température. Dans la seconde, des méthodes plus efficaces de refroidissement peuvent être envisagées, qui dissiperaient de plus fortes pertes créées dans la même partie active.

La première proposition, d'élever les limites d'échauffement, serait difficile à effectuer commercialement. Il vaut mieux attaquer selon la seconde ligne.

En gros, il y a trois classes de machines à considérer :

a) Rotors lisses en stators lisses (turbo-générateurs, moteurs asynchrones,....)

b) Rotors lisses en stators à pôles saillants (courant continu, commutatrices....)

c) Pôles saillants en stators lisses (alternateurs,...)

Dans toute machine électrique, il y a trois flux à considérer : le flux électrique, le flux magnétique, mais aussi le flux thermique, qu'on ne considère pas toujours assez.

Le chapitre suivant définit les *machines quant à leur fermeture*. On les classe ainsi en : *a*) Ouvertes ; *b*) protégées par écrans. Ce sont les machines dans lesquelles aucune des parties mobiles ne peut être touchée (à condition que l'on ajoute une protection de poulie ou d'accouplement). Cette forme, que nous appelons plutôt protégée par boucliers, est celle employée communément pour la construction des machines petites et moyennes à courant continu et alternatif.

c) A l'épreuve des gouttes, ou projections d'eau, de boue, etc. Des capuchons, des abat-vent, des persiennes sont ajoutés sur les ouvertures.

d) Ventilées par conduite d'air, amenant l'air frais depuis un filtre, quelquefois avec un ventilateur auxiliaire (fréquemment employé pour aider la ventilation produite par le rotor même), types de ventilation employés dans les turbo-alternateurs. L'air est généralement rejeté directement dans l'atmosphère.

e) Totalement enfermées et à circuit fermé d'air.

On aborde ensuite l'étude *des types de ventilation*, que l'on classe en :

a) Ventilation radiale ;

b) Ventilation axiale ;

c) Ventilation mixte, participant des deux, nécessaire notamment dans les turbo-alternateurs.

Cette ventilation mixte est employée notamment dans des machines à courant continu : ventilateur à l'arrière rejetant l'air par des ouvertures à la périphérie extérieure du bouclier, l'air entrant autour du collecteur et se divisant en deux parties : l'une autour des inducteurs, l'autre entrant dans le collecteur et revenant radialement autour des tôles et développantes de l'induit (une disposition analogue convient aux moteurs asynchrones).

d) Ventilation à entrées multiples. Un exemple est donné en reprenant le cas ci-dessus ; l'air entrant par le collecteur est de volume assez limité et le refroidissement de l'induit s'en ressent. Pour y remédier, on peut pratiquer une ouverture autour du palier-arrière, de sorte que l'air entre axialement dans l'induit par ses deux extré-

mités. Les deux dispositions ont été essayées concurremment sur le même moteur : le volume d'air autour des pôles inducteurs restait le même (14,7 m³ : mn), le volume entrant dans l'induit passait de 3,1 m³ : mn à 5,3 m³ : mn dont moitié environ par chaque bout. Les échauffements relevés ont été les suivants, en degrés centésimaux :

Bobines en dérivation		24,5	21
Bobines de commutation		35	32,5
Enroulement induit	avant	46	42
	arrière	40,5	29

Le chapitre suivant s'occupe de l'*écoulement de la chaleur* ; il traite d'abord des gradients de température et de la différence entre les relevés au thermomètre et les relevés avec une grande quantité de thermo-couples. On trouve les résultats d'essais suivants :

Type, puissance et partie considérée	Echauffement déterminé par	
	Plus haute lecture au thermo-couple	Plus haute lecture au thermomètre
Continu, protégé, 60 kW, 1460 t : mn ; bobines inductrices imprégnées et enrubannées	73° C	42° C
Continu, protégé, 45 HP, 1030 t : m ; bobines inductrices imprégnées et non enrubannées	57°	38°
Le même, pôles de commutation imprégnés	37°	29°
Induction à bagues, protégé, 180 HP, 720 t : mn ; enroulement du stator en bandes	57°-55°	43°-40°
Induction à cage, à l'épreuve des projections, 28 HP, 720 t : mn ; enroulement du stator lâche, imprégné de vernis	49°	34°
Induction à cage, protégé par boucliers, 17,5 HP, 960 t : mn ; enroulement du stator lâche, avant imprégnation	112°	55°
Le même, après imprégnation au bitume	79°	42°

L'auteur a calculé des valeurs comparatives qui seraient obtenues avec divers types d'enroulement dans la même encoche, la quantité de chaleur produite étant la même. Ces types sont : enroulement lâche sans imprégnation, puis après imprégnation, enroulement en bandes selon la hauteur, enroulement avec une bande en largeur. Il obtient pour les échauffements du point le plus chaud au-dessus du fer 37°,6 — 9°,0 — 4,9 — 4°,5, alors qu'à l'arrêt après égalisation de température dans l'encoche, on obtiendrait :

14°,5 — 4°,7 — 4°,15 — 4°,4.

Le calcul de l'écoulement de chaleur dans la direction de l'axe est

rappelé en quelques mots : formule classique de la propagation dans les conducteurs, les tôles.

Puis on parle de l'écoulement de chaleur dans la direction radiale. L'auteur signale que pour les rotors devant se refroidir par circulation d'air sur les bras du moyeu, le refroidissement est quelquefois diminué considérablement par le manque de section de ces bras, il peut en être de même au stator si les tôles appuient sur des projections radiales internes de la couronne. Une expérience faite sur un tel moteur (a), transformé ultérieurement en amenant les tôles du rotor jusqu'à l'arbre et les tôles du stator jusqu'à la partie cylindrique de la même couronne avec des trous longitudinaux dans les tôles des deux parties (b) a donné :

	a	b
	—	—
Enroulements du stator	71,5	31,5
Fer du stator	53,5	32
Enroulements et fer du rotor (cage)	59,5	25

Il peut arriver que le stator ou le rotor aient un refroidissement insuffisant, et qu'alors une certaine quantité de chaleur soit transmise par l'entrefer de l'un à l'autre. Des essais directs ont été faits ; ils ont amené à des résultats représentés par une courbe, d'où nous tirons :

Vitesse 5 m:s	0,015	Watt par degré de différence de température et par cm²
10 m:s	0,023	—
20 m:s	0,036	—
30 m:s	0,048	—
40 m:s	0,060	—

L'entrefer était égal à 0,6 mm ; l'auteur est d'avis que, pour de petits entrefers, l'écoulement de chaleur est indépendant de leur longueur. Enfin, on parle de l'écoulement de chaleur dans le sens de la circonférence. C'est principalement le passage de chaleur des conducteurs au fer, dont il a été déjà parlé quant à la forme des conducteurs et leur imprégnation. Dans le cas de bobines sur forme, le contact avec les tôles n'a pas lieu partout puisqu'on admet souvent un excès de 0,4 mm du découpage sur l'encoche disponible finie. Mais avec cette valeur, il n'y a pas en pratique d'excès appréciable de différence de température entre l'isolement de la section et le fer.

Cependant il faut éviter de faire les bobines isolées de largeur trop petite en laissant du jeu dans l'encoche, ce qui occasionnerait une

chute de, température excessive. Avec le bobinage à la main, l'isolant d'encoche est généralement pressé sur le fer et aucun échauffement excessif n'apparaît entre eux, surtout si les bobines sont imprégnées.

Ce mode de refroidissement apparaît aussi dans les bobines inductrices, dont le point le plus chaud est ordinairement aux deux tiers de l'épaisseur depuis la surface extérieure. Il y a lieu de donner un bon contact entre la partie interne de la bobine et le fer du pôle ; à cet effet, on gagne beaucoup, en faisant les bobines et les pôles en forme de coin, de manière qu'on soit sûr de forcer au montage.

Les enrubannages des bobines inductrices, peuvent donner des ennuis si des poches d'air importantes sont ainsi enfermées.

Le chapitre suivant a pour titre : *Dissipation de chaleur*. La chaleur produite est transmise dans presque tous les cas à l'air, à l'eau ou aux deux en série. On peut faire un tableau donnant des valeurs typiques des échauffements successifs, étapes au moyen desquelles on arrive à l'échauffement définitif du point le plus chaud. On peut prendre dans le cas de 50° C au-dessus de l'air ambiant :

a) Refroidissement par l'eau (prise à une température de 5° C au-dessous de celle de l'air ambiant) :

Temp. moy. de l'eau au-dessous de l'air ambiant.	3° C
Différence de temp. entre les tubes et l'eau. . .	1°
Différence de temp. entre les tubes et le point chaud.	52°

b) Refroidissement par l'air :

Echauffement moyen de l'air de refroidissement. .	11°
Différence de temp. entre les surfaces de dissipation et l'air.	25°
Différence de temp. entre les surfaces de dissipation et le point chaud.	14°

c) Refroidissement par l'air et l'eau en série :

Temp. de l'air sortant du refroidisseur au-dessus de l'air ambiant.	3°
Echauffement moyen de l'air passant dans la machine	10°
Différence de temp. entre les surfaces de dissipation et l'air.	24°
Différence de temp. entre les surfaces de dissipation et le point chaud.	13°

Ces valeurs varient avec les circonstances. Lorsque la différence de

température entre le point chaud et les surfaces de dissipation est une trop forte proportion de l'échauffement total, on doit augmenter la quantité de fluide de refroidissement.

Si les conductibilités calorifiques et les surfaces de refroidissement sont grandes, on peut réduire la quantité normale de fluide de refroidissement. Cependant l'échauffement de ce fluide ne peut jamais approcher de près l'échauffement permis à la machine. Ainsi, dans le cas de machines refroidies par quelques tuyaux dans lesquels circule de l'air, l'échauffement de cet air peut atteindre 65 pour cent de l'échauffement autorisé à la machine, mais dans la plupart des cas, on ne dépasse pas 30 à 50 pour cent.

Dans ces conditions générales, on trouve ordinairement nécessaire de fournir 4,5 litres d'eau par minute et par kilowatt de pertes, si l'on compte sur l'eau seule pour le refroidissement à 40° C au-dessus de l'air ambiant. Dans le cas d'air et d'eau combinés, il faut 2 200 à 3 100 litres d'air par minute avec 4,5 litres d'eau. Dans le cas d'air seul, on compte 2 000 à 2 800 litres par minute.

Il ne faut pas supposer qu'en doublant la quantité de fluide refroidissant, on réduit l'échauffement de moitié. Des courbes sont données à cet effet pour divers cas. Par exemple, on trouve que si l'on accroît la quantité d'air de 20 pour cent, la baisse de température ne sera que de 4 à 12 pour cent.

Les surfaces de refroidissement sont ensuite étudiées.

L'air circulant dans des conduits de ventilation axiaux élimine une quantité de chaleur qui dépend de la vitesse et aussi quelque peu de la longueur des conduits. Nous tirons des courbes données, qui ne sont évidemment que des approximations moyennes, qu'on peut supposer l'enlèvement de chaleur comme proportionnel à la vitesse de l'air, pour des vitesses entre 4 et 25 mètres par seconde, et donné par

0,0045	watt par cm² par degré C pour une longueur infinie		
0,0060	—	—	0,60 m.
0,0075	—	—	0,20 m.
0,0095	—	—	0,05 m.

la vitesse étant 10 m:s dans des conduits circulaires à parois rugueuses (tôles).

Pour les parois lisses la dissipation est de 25 pour cent plus faible.

La circulation radiale est surtout celle qui est pratiquée entre paquets de tôles. Les entretoises du type normal suivent le rayon le long des dents et un peu plus loin ; elles se terminent par une partie oblique sur le rayon ; d'autres types ont été proposés. L'auteur s'est

bien trouvé de l'adoption de deux parties radiales distinctes : l'une courte sur l'axe des dents ; l'autre plus longue prolongeant l'axe des encoches ; on éviterait ainsi l'obstruction par la poussière. Le coefficient d'enlèvement de chaleur dans ces espaces de ventilation est, d'après les courbes de Luke, à peu près ce qu'on a dans le cas de ventilation axiale avec une longueur de 5 cm. Les courbes de Miles Walker donnent presque 1,5 fois ces valeurs : elles ont été déterminées sur de grandes machines comme des turbo-alternateurs, tandis que les autres ont été obtenues sur de petits modèles.

Lorsqu'un rotor lisse tourne dans un stator lisse un volume d'air assez petit peut être forcé au-travers des espaces de ventilation radiaux en série. Des essais ont montré que, en passant au travers des ventilations du stator, l'air a un accroissement de température souvent assez faible, ce qui indique peu d'enlèvement de chaleur. L'auteur a construit un certain nombre de machines semblables, ne différant que par le nombre des sections de ventilation, et l'effet, sur les températures du stator, de la réduction du nombre des sections, se montre souvent négligeable.

L'efficacité des sections de ventilation du stator est augmentée si l'on adopte une ventilation forcée appropriée,

Les extrémités des noyaux n'interviennent que peu dans l'élimination totale de chaleur. Dans les machines ventilées radialement, il suffit pour en tenir compte avec assez d'exactitude, d'appliquer les coefficients donnés ci-dessus pour les conduits radiaux. Dans les machines ventilées axialement, on peut appliquer les mêmes formules en prenant pour la vitesse la moitié de celle que l'on a dans les canaux axiaux.

Dans le cas de surfaces cylindriques ventilées axialement, le refroidissement par l'air correspond à une vitesse résultante de la vitesse de rotation et de la vitesse de l'air.

Dans les entrefers de moins de 3 mm, le volume d'air qui circule est ordinairement faible et son effet refroidissant est négligeable.

Dans les machines à pôles saillants, la surface d'induit touchée par l'air, correspond seulement à celle qui se trouve entre les pôles.

Pour un rotor cylindrique lisse, on dissipe en watts par cm² et par degré C, en fonction de la vitesse résultante, les valeurs suivantes :

10 m : s.	0,005
20 m : s.	0,008
30 m : s.	0,010

et environ 35 pour cent de plus si la surface est dentée.

Pour les bobines inductrices, on obtient environ 0,0045 watt par cm^2 par degré C pour une vitesse de 10 m : s, et à peu près proportionnellement à la vitesse. La vitesse moyenne de l'air est obtenue en divisant la quantité d'air totale par la surface de l'espace interpolaire. (Une quantité de chaleur appréciable s'écoule de plus à l'intérieur, dans le fer du pôle)

Pour les extrémités d'enroulements, on peut prendre pour

10 m : s	0,0071
20 m : s	0,0115
25 m : s	0,0135

Un chapitre est consacré à *l'écoulement de l'air*; des formules donnant les pertes de charges sont indiquées et analysées.

Le dernier chapitre est consacré *aux ventilateurs*. Il contient un tableau donnant la description du ventilateur, la pression, la vitesse, le débit, la puissance consommée.

La plus importante dimension d'un ventilateur, est probablement son diamètre. Dans certaines machines, comme les turbo-alternateurs, c'est surtout la fatigue du métal qui limite ce diamètre. Dans le cas des petites machines, c'est plutôt l'emplacement disponible.

Le bruit créé par les ventilateurs a aussi une importance.

Les conclusions de l'auteur sont d'abord qu'il y a beaucoup d'études à faire encore dans cette voie. Puis, en mettant à part les turbo-alternateurs, il remarque que la pratique américaine est plutôt toujours en faveur de la ventilation radiale. Les ventilations axiale et mixte sont employées sur le continent pour les machines à courant continu, surtout en Allemagne, alors que la simple ventilation radiale l'est dans les machines à courant alternatif. En Angleterre, la majorité des constructeurs est en faveur de la ventilation axiale pour les machines à courant continu, tandis que les opinions sont divisées à peu près également entre ventilations axiale et radiale pour les machines à courant alternatif.

Les progrès sont indiqués par les poids de machine de même puissance, qui décroissent depuis quarante ans d'une manière continuelle. Cependant les courbes s'approchent d'asymptotes.

5e SECTION. — TÉLÉGRAPHIE. — TÉLÉPHONIE.

Présidence de M. REYNAUD-BONIN

SÉANCE DU 9 JANVIER 1931. — Analyse d'une communication de M. T. WALMSLEY à l'Institution of Electrical Engineers sur les *Réseaux dirigés et les lignes de transmission*, par M. BELLINI.

L'auteur étudie au double point de vue de la concentration d'énergie et du coût d'installation, différents réseaux aériens pour ondes courtes : Chireix-Mesny, Marconi, Koomans, Sterba et Bruce et décrit un type de réseau inventé par lui-même (aérien T. W.), fig. 1. Les fils

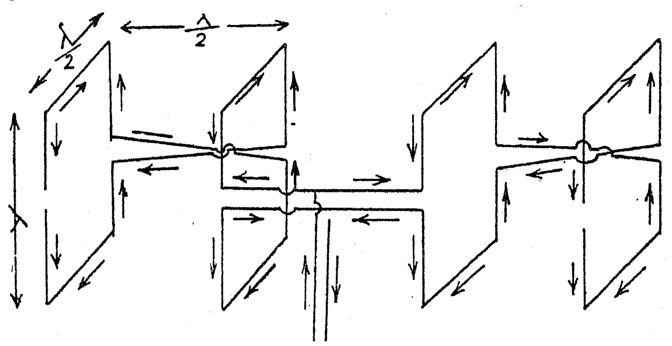


Fig. 1.

rayonnants sont les fils verticaux. Il est facile de voir que les fils horizontaux donnent un rayonnement théoriquement nul. En tournant tout le système de 90° on obtient un système à rayonnement zénithal.

Le degré de concentration d'un aérien dépend, d'après Ballantine, de E/P, où E est la valeur du champ électrique dans une certaine direction et P la puissance fournie à l'aérien. Deux méthodes sont employées par l'auteur pour la détermination de E/P pour différentes formations de réseaux : la méthode directe par la considération du vecteur de Poynting et la méthode Brillouin-Pistolkors.

L'auteur calcule ainsi les concentrations données par quatre formations de réseaux et démontre que, quoique son réseau soit inférieur comme concentration à un réseau de hauteur double, le prix de revient dû à cette limitation de la hauteur l'emporte sur toute autre considération.

Les réseaux ne sont presque jamais employés sans réflecteur. L'auteur

a trouvé expérimentalement que la longueur des fils formant réflecteur doit être de 3,5 pour cent plus grande que la demi-longueur d'onde.

Les fils destinés à supprimer le rayonnement dans une certaine direction doivent avoir une longueur bien définie (environ 0,45 λ) et qui est très critique.

Presque aussi importante que la question des aériens est celle des lignes d'alimentation. On sait que Marconi et d'autres emploient des lignes constituées par des tubes concentriques. On admet d'autre part, que les pertes par rayonnement de la part des lignes d'alimentation constituées par deux conducteurs non concentriques sont tellement importantes que leur emploi doit en être interdit.

L'auteur conteste ce point de vue et démontre que les pertes dans les lignes d'alimentation ouvertes, peuvent être réduites à la même valeur que celles dans les tubes concentriques. L'auteur émet ensuite l'opinion que les pertes dépendent en partie du type d'aérien employé et, en particulier, de la possibilité d'avoir des courants égaux dans les deux conducteurs d'alimentation, toute différence entre ces courants produisant des pertes qui peuvent être considérables, quel que soit le système de ligne d'alimentation. Le même type de réseau plus ou moins bien installé peut donc produire dans la ligne d'alimentation des pertes plus ou moins considérables.

A la suite de cette communication, M. Chireix *fait les remarques suivantes :*

« L'aérien cité par l'auteur sous le nom de Sterba est déjà contenu dans le brevet original de M. Chireix. Il lui semble difficile d'admettre qu'une ligne constituée par des conducteurs coaxiaux, puisse coûter cinq fois plus cher qu'une ligne à 2 conducteurs parallèles. D'autre part, la longueur critique des fils constituant les éléments de réflecteur avait déjà été observée par M. Chireix. »

Séance du 20 mars 1931. — Analyse d'un article de MM. F. M. Colebrook et R. M. Wilmotte à l'Institution of Electrical Engineers sur *Une nouvelle méthode de mesure de la résistance et de la réactance à haute fréquence*, par M. Bellini.

La méthode exposée par les auteurs est une modification de celle imaginée par P. W. Willans et décrite par P. K. Turner en 1925. Cette dernière méthode est essentiellement la suivante (fig. 1).

Le premier oscillateur à lampes oscille à la fréquence à laquelle on veut exécuter la mesure. Le deuxième oscillateur oscille sur une fréquence légèrement différente, de façon à donner une note audible au téléphone. On fait ensuite agir sur le premier oscillateur le circuit l dont on cherche la résistance à haute fréquence. Quand ce circuit est exactement accordé sur la même fréquence que le premier oscillateur, la hauteur de la note audible n'est pas modifiée. Mais en le désaccordant par variation de son condensateur, la hauteur de la note varie comme il est

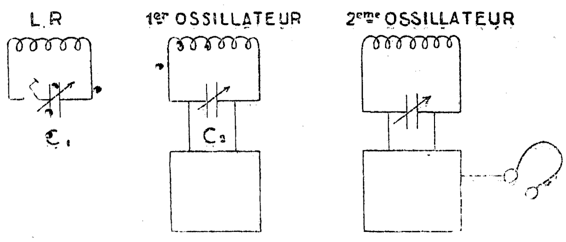


Fig. 1.

indiqué par la fig. 2. En appelant C_1' et C_1'' les valeurs de la capacité du condensateur du circuit l correspondant à la note la plus aiguë et à la plus basse, la résistance R_1 est donnée par la formule

$$R_1 = \frac{1}{2\omega}\left(\frac{1}{C_1'} - \frac{1}{C_1''}\right).$$

Cette méthode peut donner lieu à des erreurs pour les raisons suivantes :

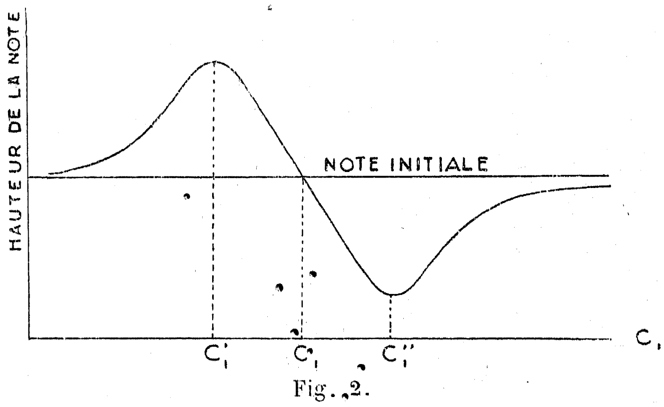


Fig. 2.

1° Il est difficile d'apprécier les points de hauteurs maximum et minimum.

2° Pour ne pas avoir d'erreur sensible, il faudrait que la fréquence

du premier hétérodyne varie très peu, tandis que pour avoir une bonne sensibilité, il faut que la fréquence varie beaucoup. La raison pour laquelle il faut que la fréquence varie très peu, est la suivante :

La formule exacte n'est pas la précédente, mais

$$R_1 = \frac{1}{2\omega}\left(\frac{1}{C_1'} - \frac{1}{C_1''}\right)\left(1 + \frac{\omega L_1}{R_1}\frac{d\omega}{\omega}\right).$$

Si nous supposons que $\frac{\omega L_1}{R_1} = 100$, valeur tout à fait courante, il suffit d'une variation relative de fréquence de 1 pour cent pour commettre une erreur de 100 pour cent dans la détermination de R_1.

Les auteurs ont donc transformé la méthode de façon que la fréquence reste rigoureusement constante.

Cette méthode utilise comme la première deux oscillateurs à haute fréquence mais en même temps un oscillateur basse fréquence. On commence par régler le premier oscillateur à la fréquence de mesure et le second de façon que la note de battement soit la même que celle de l'oscillateur basse fréquence. On ferme ensuite le circuit à mesurer. Pour chaque valeur du condensateur C_1, on trouve une valeur du condensateur C_2 qui ramène la note de battement à celle de l'oscillateur basse fréquence. On trace la courbe ayant pour abscisses C_1 et pour ordonnées C_2. Cette courbe a la même allure que celle de la fig. 2. Les valeurs C_1' et C_1'' correspondant au maximum et au minimum de cette courbe, seront celles à employer dans la formule. Le résultat sera rigoureusement exact, car $\frac{d\omega}{\omega} = 0$.

La mesure de l'impédance d'une bobine s'obtient de la manière suivante : On mesure L et R d'une bobine quelconque, puis les valeurs correspondantes de cette bobine, à laquelle on relie en parallèle la bobine dont on veut connaître l'impédance. Une formule assez compliquée donne la valeur cherchée.

ERRATA

Bulletin n° 5, mai 1931,
Comptes rendus des Discussions de la Semaine de novembre 1930.

Page 550, 3e ligne du renvoi (1). — Interversion entre les mots « systèmes » et « employés ».

Page 551. — Interversion entre la ligne 11 (formules) et l'alinéa suivant (lignes 12 à 15).

Page 552, ligne 3. — Interversion entre les chiffres « 2 » et « 3 » mis en exposants.

OUVRAGES OFFERTS A LA SOCIÉTÉ

Production

Les chaudières à vapeur. Charles De Bie, Ingénieur à la Société des Chaudronneries et constructions mécaniques Scheidecker, Frères et Cie. Un volume broché 25 × 16 cm, 581 pages, 475 figures. Edité par Dunod, 92, rue Bonaparte (VI), Paris, 1931. — *Don de l'Editeur.*

Appareillage général

The Jet-Wave rectifier an account of Its constructional development during the Years 1919-1929 Jul. Hartmann. Un volume broché de 26 × 18 cm, 296 pages. Figures et clichés photographiques Edité par Danmarks Naturvidenskabelige Samfund. Den Polytekniske lacreanstalt (The Royal technical College) Copenhagen, Danmark, 1930. — *Don de l'Editeur.* Prix : 30 francs.

Recherches

Etude des Courants Telluriques. 2e fascicule. David Stenquist, Docteur ès Sciences, Ingénieur des Télégraphes. 1 vol. broché de 31×25 cm., 17 p., 18 courbes, 3 tableaux. Edité par R. W. Statlanders Boktryckeri, Stockholm. 1930. — *Don de l'Editeur.*

Géophysik. IIe partie. Physique des corps solides terrestres et de la mer, G. Angenheister, Professeur à l'Université de Göttingen. 1 vol. relié de 26×17 cm., 823 p., 313 fig., 3 tableaux. Edité par Akademische Verlagsgellschaft M. B. H. Leipzig, 1931.

Propagation d'une onde sonore dans l'atmosphère et théorie des zones de silence. Henri Galbrun, Docteur ès sciences, actuaire de la Banque de Paris et des Pays-Bas, Administrateur Délégué de la Société de Prospection Géophysique. Un volume broché, 25 × 17 cm, 350 pages, 68 figures. Edité par Gauthier-Villars & Cie, Paris, 1931. Prix : 70 francs. — *Don de l'Editeur.*

Quanta et chimie. Arthur Haas, Professeur de Physique à l'Université de Vienne. Un volume broché de 19 × 14 cm., 68 pages, 7 figures, tableau. Edité par Gauthier-Villars et Cie, Paris, 1931. — *Don de l'Editeur.*

Thèses présentées à la faculté des Sciences de l'Université de Paris pour obtenir le titre d'ingénieur-docteur. Oleg Yadof, Ingénieur I.E.G., licencié ès-sciences. Un volume broché de 27 × 21 cm., 40 pages, 21 figures. Abaque-Courbes. Edité par la Revue d'Electricité et de Mécanique, 17, Boulevard Haussmann, à Paris, 1931. — *Don de l'Auteur.*

Mathématiques

Les mouvements mécaniques. Etude descriptive et raisonnée des mécanismes, Marcel Nicaise. Un volume relié 24 × 16 cm, 685 pages, 1031 figures. Edité par la Librairie Polytechnique Ch. Béranger. Paris et Liège. — *Don de l'Editeur.*

Congrès

Cinquantenaire de la fondation du génie civil. Un volume broché de 38 × 27 cm, 236 pages, illustrations. Edité par le Génie civil, 5, rue Jules Lefevre, Paris, 1930. — *Don de l'Editeur.*

XXII Congrès International de Varsovie, 29 juin, 6 juillet 1930. Comptes rendus détaillés. Union Internationale des tramways, des chemins de fer d'intérêt local, et de transports publics automobiles. Un volume broché de 27 × 21 cm, 750 pages. Clichés photographiques, dessins. Edité par le Secrétariat général de l'Union Internationale de tramways, de chemins de fer d'intérêt local et de transports publics automobiles, 112, rue du Trône, Bruxelles, 1930. — *Don de l'Union.*

Rapport du premier Congrès de la Sécurité Aérienne. Congrès International de la Sécurité Aérienne. 2 vol. reliés de 21×29 cm T. I : 300 p., 224 fig., 52 tabl. T. II : 308 p., 194 fig., 16 tabl. Edité par le Comité français de propagande aéronautique, 23, avenue de Messine, Paris 1931. — *Don de l'Editeur.*

Manuels

Siemens Handbücher. XII band. Elektrizität in der Landwirt. C. Buschkiel. Un volume relié de 21 × 15 cm, 171 pages, 185 figures. Edité par Walter de Gruyter et Cie, Berlin, Leipzig, 1927. — *Don de l'Editeur.*

Siemens Handbücher, un bande. Allgemeine Grundlagen der Elektrotechnik, Dr C. Michalke, Oberingenieur der Siemens Schuckertwerke. Un volume relié de 21 × 15 cm, 167 pages, 153 figures. Edité par Walter de Gruyter und Cie, Berlin und Leipzig, 1925. — *Don de l'Editeur.*

Siemens Handbücher, VIII band. Elektrisches Schaltzeug. Ernest Schupp, Oberingenieur der Siemens Schuckertwerke. Un volume relié de 21 × 15 cm, 179 pages, 314 figures. Edité par Walter de Gruyter et Cie, Berlin, Leipzig, 1927. — *Don de l'Editeur.*

Siemens Handbücher, V band. Das Krasftwerk Fortuna II. Monographie Emes Dampfkraftnerks in systematischer Darstellung. Albert Chreiber, Direktor des Rheinischen Elektricitatswerks im Braunkolenrevier A G. Köln. Un volume relié de 21 × 15 cm, 175 pages, 153 figures. Edité par Walter de Gruyter et Cie, Berlin, Leipzig, 1925. — *Don de l'Editeur.*

Siemens Handbücher, VII band. Der Leitungsfaktor. G. Scharowsky, Dipl. Ing. Un volume relié de 21 × 15 cm, 197 pages, 159 figures. Edité par Walter de Gruyter et Cie. Berlin, Leipzig, 1930. — *Don de l'Editeur.*

Eseignement

Cours de Physique Tome II. Thermodynamique. Optique. M. A. Lafay, Professeur. 1 vol broché de 28×23 cm., 736 p. Edité par Gauthier-Villars et Cie., Paris. 1931. — *Don de l'Editeur.*

The Autobiography of an Engineer, William Le Roy Emmet. Un volume relié 25 × 15 cm, 213 pages. Clichés photographiques. Edité par Fort Orange Press, Albany, New-York. 1931. — *Don de l'Editeur.*

BIBLIOGRAPHIE DES OUVRAGES OFFERTS

ECLAIRAGE

L'éclairage par projecteurs. Volume de 117 pages, 86 figures, 4 planches. Société pour le perfectionnement de l'éclairage, 134, boulevard Haussmann, Editeurs.

Après quelques pages de généralités sur les projecteurs, leurs réflecteurs, les lentilles et verres diffusants, on trouve dans cette brochure une description détaillée et fort bien illustrée des applications des projecteurs à l'éclairage des édifices, des voies de triage, des carrefours de routes, des postes de transformation du type extérieur, des chantiers de construction, des fontaines lumineuses, des affiches et panneaux publicitaires. Les pages qui suivent sont consacrées à l'étude et la description des appareils proprements dits et de leurs miroirs, ainsi qu'à la photométrie des projecteurs. Le livre se termine par l'examen des conditions à satisfaire, lors de l'établissement d'un projet d'éclairage par projecteurs; il contient une série de planches et des tableaux facilitant le choix des appareils.

ELECTROCHIMIE

Les procédés modernes d'électroplastie. Le nickelage à forte épaisseur et le chromage, par H. P. BOURGEOIS, Ingénieur A. et M. Directeur technique de la Société Française Permix (Extrait de « l'Electricité pour tous » — de janvier 1931), un fascicule de 12 pages, 9 figures.

Dans cette brochure de 12 pages, l'auteur étudie en détail le nickelage, opération presque toujours complétée maintenant par le chromage. Les principes et la description des procédés actuellement employés sont exposés avec clarté, et sont suivis de quelques lignes sur le cuivrage et les autres dépôts susceptibles d'être réalisés électrolytiquement : zingage, cadmage, plombage, étamage, laitonnage, argenture et dorure.

APPAREILLAGE. — TRACTION

Commutatrices et convertisseurs rotatifs, M. BARRÈRE, Ingénieur-Conseil, chef des Travaux Electrotechniques à l'Ecole Centrale. Préface de M. Rougé, Ingénieur-Conseil au Matériel Electrique S.W. Un volume de 23 × 16 cm. de 492 pages, 371 figures, 1931. Encyclopédie d'Electricité Industrielle. Librairie J. B. Baillère et fils, 19, rue Hautefeuille, Paris.

Très peu d'ouvrages de langue française ont étudié cette importante question que M. Barrère traite d'une façon très complète.

Un premier chapitre est consacré à l'étude générale de la transformation des courants dans lequel l'auteur examine les différents convertisseurs rotatifs autres que les commutatrices, depuis le simple redresseur jusqu'aux appareils plus récents, comme le « transverter ». Nous y retrouvons les dispositifs ingénieux remontant déjà au début du siècle comme le « panchahuteur » de Maurice Leblanc, la permutatrice Rougé et Faget, le redresseur Anvert et Ferrand. L'auteur consacre en particulier plusieurs pages à l'étude de la permutatrice de MM. Rougé et Faget dans lesquelles il fait ressortir les avantages que présente cet appareil qui n'a pas encore rencontré l'attention qu'il mérite.

Dans un second chapitre, intéressant par son caractère original sont exposées des considérations théoriques sur les induits infiniphasés et les enroulements

homogènes; l'auteur fait ensuite l'étude théorique générale du fonctionnement des commutatrices en utilisant les diagrammes vectoriels, puis consacre un chapitre aux phénomènes de toute nature dont leur induit est le siège. Il montre les avantages résultant du raccourcissement du pas, de l'emploi d'un nombre fractionnaire d'encoches par pôle et termine par l'étude de la commutation et des moyens de l'améliorer, en particulier en utilisant des pôles auxiliaires.

Un chapitre fort intéressant est consacré aux phénomènes transitoires dans les commutatrices, soit au moment des démarrages, soit en marche normale à la suite de perturbations. L'emploi des amortisseurs, ainsi que leur calcul, la question des « flash » et des moyens de protection les concernant y sont également examinés.

L'étude des différents moyens de réglage de la tension continue des commutatrices, fait l'objet d'un chapitre très complet. L'ouvrage se termine par des chapitres ayant un caractère pratique, concernant successivement l'étude des éléments constitutifs des commutatrices, l'emploi de ces machines, leurs calculs d'établissement, les spécifications détaillées de machines très récentes, ainsi que leurs résultats d'essai.

Chaque chapitre est complété par une bibliographie.

La Trazione Elettrica Sulla Ferrovie Italiane. Un volume relié 16 × 23 cm., 189 pages, 28 schémas, 92 photogravures.

Cet ouvrage, luxueusement édité constitue un exposé essentiellement descriptif de la traction électrique sur les réseaux des chemins de fer italiens.

Après un rappel historique et un examen comparatif des divers sytèmes de traction électrique, l'auteur examine tout d'abord l'alimentation par lignes de contact triphasées à basse et à moyenne fréquence, ainsi que l'alimentation en courant continu par 3e rail ou par ligne aérienne.

La production de l'énergie et la description des principales centrales thermiques et hydro-électriques qui assurent l'alimentation des réseaux électrifiés font ensuite l'objet de la deuxième partie de l'ouvrage

La troisième partie, abondamment illustrée constitue une description comparative des divers types de locomotives électriques à laquelle l'auteur ajoute enfin quelques indications générales sur l'organisation des services de réparation sur les réseaux électrifiés et sur l'électrification des lignes secondaires.

Recherches physiques

Couleurs et colorimètres, par P. Fleury, Professeur à la Faculté des Sciences de Lille. Un volume broché 17 × 25 cm., 30 pages. 5 francs. Librairie Scientifique Hermann et Cie., 6, rue de la Sorbonne, Paris.

Cet ouvrage est constitué par la reproduction d'une conférence faite par l'auteur le 7 mai 1930 au Conservatoire National des Arts et Métiers à Paris. Il y expose l'intérêt qu'il y aurait à pouvoir définir mathémathiquement les couleurs au lieu de se contenter des termes vagues du langage courant. Il montre tout d'abord que la seule indication de la longueur d'onde serait insuffisante, puisqu'elle ne satisferait que le repérage des couleurs monochromatiques. Il indique également la nécessité de bien définir dans ce genre d'étude les conditions des expériences et notamment la nature de la lumière avec laquelle on opère.

La dernière partie donne la description des principaux types de colorimètres en usage.

Deux heures de physique, par F. Wolfers, Docteur ès sciences de la Faculté des Sciences d'Alger. Un volume 13 × 19 cm., 240 pages. Editions K.R.A., 20, rue Henri Regnault, Paris.

Dans cet ouvrage l'auteur s'efforce de montrer les fondements solides des théories modernes de la physique pour réagir contre les tendances qui présenteraient ces théories comme d'audacieuses hypothèses.

C'est un livre de vulgarisation, qui doit par conséquent n'exposer que des

théories définitives hors de discussion, et non des hypothèses dont la controverse n'est que du domaine d'un petit nombre d'initiés.

Cette préoccupation se retrouve dans l'ordre adopté pour les divers chapitres : c'est l'ordre logique et non l'ordre chronologique des théories nouvelles dans la suite de leur apparition. L'auteur montre ainsi l'enchainement de ces diverses théories et la solidité inébranlable du nouvel édifice. Ces exposés abondent en descriptions de faits expérimentaux, une très faible part étant laissée aux calculs théoriques.

Essai sur une équation de dimensions de la température, par P. Juppont, Ingénieur des Arts et Manufactures. Un volume 12 × 18 cm., 90 pages, 2 tableaux. Librairie scientifique et industrielle. Bernard Tignol, 53 *bis*, Quai des Grands-Augustins. Editeur, Hommage de l'auteur.

L'auteur expose que la température est actuellement définie d'une façon défectueuse par la mesure de certaines dilatations. Il essaie de faire rentrer cette définition dans le système masse, longueur, temps, en montrant que la température peut être définie en partant de la notion d'énergie. Il montre comment cette nouvelle définition permet de retrouver le principe de Carnot et d'une manière générale comment elle s'adapte aux théories de la thermodynamique, de l'électricité et de la mécanique. Tous les exposés contenus dans cet ouvrage sont clairs, simples et auraient pu donner lieu à des développements importants que l'auteur n'a pu établir faute de temps, mais qui peuvent tenter les esprits qu'intéressent les spéculations de cette nature.

Etude des courants telluriques par David Stenquist (Mémoires publiés par la Direction générale des Télégraphes de Suède) Un fascicule de 18 pages, 11 figures, 3 tableaux. Edité par R. W. Statlanders Boktryckert, Stockholm.

Dans ce fascicule de 18 pages, l'auteur confirme par l'examen des résultats expérimentaux, les lois qu'il avait précédemment observées, au sujet de la variation diurne des courants telluriques, suivant qu'il s'agit de la zone septentrionale ou de la zone méridionale. (En Europe la limite de ces deux zones coïncide à peu près avec le 55e parallèle) Il publie enfin des tableaux des jours perturbés observés dans les bureaux télégraphiques de la Suède.

La constitution des Comètes, par F. Baldet, astronome adjoint à l'Observatoire de Paris. Un volume 13 × 25 cm., 23 pages. Librairie scientifique Hermann et Cie, 6, rue de la Sorbonne, Paris. Prix broché : 5 francs.

Cet ouvrage contient *in extenso* une conférence faite au Conservatoire national des Arts et Métiers le 14 mai 1930 par M. Baldet. Elle avait pour but d'exposer l'état actuel des connaissances scientifiques sur la constitution des comètes. L'auteur expose les difficultés particulières à ce genre d'investigations, difficultés qui tiennent surtout au caractère fugitif du corps à étudier. Il rappelle les notions élémentaires connues depuis longtemps sur l'aspect des comètes et leurs parties constitutives. Puis il indique les résultats obtenus par l'analyse spectrale de ces diverses parties, ensuite par la photographie, ensuite par la méthode du prisme objectif qui participe des deux précédentes. L'auteur conclut en exposant succinctement les nombreuses questions qui restent à résoudre dans l'étude des comètes et mentionne l'espoir que les perfectionnements des procédés d'observation permettront d'accélérer celle-ci dans un avenir prochain.

L'ampérien dans la théorie des spectres. Note de M. Raoul Ferrier (Extrait des comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences, séance du 18 juin 1928).

L'auteur montre que par l'introduction d'une fonction nouvelle, le *scalaire ampérien*, on peut rétablir une sorte de concordance entre les notions générales de la Mécanique rationnelle et les vues théoriques qu'impose l'étude des spectres.

La structure et les mouvements de l'Univers stellaire, par G. Darmois, professeur à la Faculté des Sciences de Nancy. Un volume 16 × 25 cm., 46 pages.

Librairie scientifique Hermann et Cie, 6, rue de la Sorbonne, Paris. Prix broché : 3 francs.

Cet ouvrage constitue le compte rendu d'une conférence faite au Conservatoire national des Arts et Métiers, le 16 mai 1930 par M. Darmois. L'auteur expose ses vues d'une manière fort originale et attrayante et ne craint pas d'indiquer au début que l'intérêt de ces questions est d'ordre sportif : il faut essayer les forces de l'esprit humain, aussi bien dans l'étude des infiniment petits, que dans celle des infiniment grands.

L'auteur rappelle les définitions des unités particulières dont on est obligé de faire usage dans ce genre d'études, unités qui doivent forcément être à l'échelle des grandeurs considérées. Etant donné le cadre réduit de l'ouvrage, celui-ci ne contient aucun développement étendu, mais une suite d'aperçus des plus intéressants sur certains côtés des phénomènes interstellaires.

La Synthèse des Ondes et des Corpuscules. par Karl K. Darrow des Bell Téléphone Laboratories (New-York). Un volume de 22,5 × 14 cm. de 53 pages, 1931. Edité par la Librairie Scientifique Hermann et Cie., 6, rue de la Sorbonne, Paris (Ve).

L'auteur montre que les deux théories, l'ondulatoire et la corpusculaire qui, si souvent ont été jugées comme incompatibles, peuvent en réalité concorder grâce à la modification d'au moins l'une d'entre elles, sans qu'on soit obligé de détruire tout à fait son caractère.

Quanta et Chimie, par Arthur Haas, Professeur de physique à l'Université de Vienne. Un volume broché 70 pages 14 × 19 cm. Gauthier-Villars et Cie. Editeurs, Paris.

Ce petit ouvrage réunit les exposés faits en 1929 par l'auteur à la Société de Chimie physique de Vienne. Ces exposés sont présentés le plus simplement possible en laissant de côté toute formule mathématique. Ils constituent une introduction à l'étude des théories modernes de la physique, mais ils s'adressent surtout aux lecteurs qui manquent de temps pour approfondir ces théories et qui tiennent cependant à ne pas les ignorer entièrement.

Citons parmi les principaux chapitres : l'arithmétique et la périodicité chimique. La chimie quantique de la valence et des forces chimiques, l'arrangement électronique et le système des éléments.

Il n'y a dans cet ouvrage aucune nouveauté, mais seulement des exposés de notions admises et presque classiques actuellement.

Recherches expérimentales sur la propagation d'ondes aériennes dans un long tuyau cylindrique. Extrait des *Annales de physique*, par Th. Vautier, Professeur à la Faculté des Sciences de Lyon. Un volume de 15 × 14 cm., 330 pages. Nombreuses figures et planches hors texte. Masson et Cie, éditeurs.

Cet ouvrage relate les expériences faites par M. Vautier en 1923 sur la propagation des ondes dans une conduite de 2 m de diamètre qui avait été mise à sa disposition par le Service des Eaux de la ville de Lyon. Les mesures diverses ont été faites par une méthode optique interférentielle. Les ondes étaient produites par des explosifs. On trouvera dans cet ouvrage la description de la conduite et des appareils de mesure utilisés, ensuite l'exposé des méthodes utilisées, la réalisation pratique des expériences et les résultats obtenus, classés par catégories d'ondes.

Toutes ces expériences, très nombreuses, ont été faites avec le plus grand soin et cet ouvrage apporte une documentation des plus précieuses pour l'étude de la propagation des ondes en général.

Mécanique

Contribution à l'étude des moteurs hydrauliques hélico-centripètes, par Oleg Yadoff, Ingénieur I.E.G, Licencié ès sciences. Un volume de 21 × 27 cm.,

42 pages, 21 figures, 1931. Edité par la Revue d'Electricité et de mécanique, 173, boulevard Haussmann, Paris, VIII^e.

Cette étude a été présentée par son auteur, comme thèse, pour obtenir le titre d'Ingénieur-Docteur de l'Université de Paris Elle concerne particulièrement les moteurs hydrauliques hélico-centripètes à réaction fonctionnant sous hautes ou très basses chutes d'eau. Après un rappel des formules fondamentales de l'hydrodynamique, exprimées en coordonnées semi-polaires, l'auteur étudie les relations existant entre les divers éléments des turbines et construit un diagramme permettant d'obtenir les éléments fondamentaux. Un chapitre est consacré à l'étude de la variation de la puissance et du débit en fonction de la hauteur de chute pour une vitesse de rotation et une ouverture du distributeur constantes. La dernière partie de l'ouvrage concerne la cavitation qui est envisagée du double point de vue théorique et pratique ; l'auteur y donne d'après les travaux de différents Ingénieurs, des chiffres pouvant être adoptés dans des projets.

Congrès

Annuaire de l'Industrie Française Radio-Electrique. — Edition officielle du Syndicat Professionnel des Industries Radio-Electriques. — Un volume 18 cm × 26 cm, 1.107 pages, 1930. Editions Lajeunesse, 14, rue Brunel, Paris.

Editée sous les auspices du Syndicat professionnel des Industries Radio-Electriques, cette première édition contient une abondante documentation, provenant de sources officielles et visant les points ci-après :

Services officiels dont dépend la Radiophonie, Syndicat Professionnel des Industries Radio-Electriques, Emissions de T. S. F., Réglementation spéciale à la T.S.F., Documentation Douanière, Documentation Commerciale, Documentation Fiscale, Questions ouvrières et sociales, Documentation technique, Unions et Associations intéressant les Industries Electriques et Radio-Electriques, etc.

Normalisations, Spécifications et Prescriptions Techniques, établies par l'Union des Syndicats de l'Electricité et divers groupements techniques. Un volume relié 22 × 14 cm. de 1024 pages avec de nombreuses figures, cartes et tableaux, publié par l'Union des Syndicats de l'Electricité, 54, avenue Marceau, Paris 8^e.

L'union des Syndicats de l'Electricité a réuni dans un volume l'ensemble des règles et prescription d'ordre technique établies par les groupements professionnels de l'électricité ou par l'administration pour la construction du matériel électrique, son installation et sa mise en œuvre.

Ces diverses prescriptions sont réparties en plusieurs catégories correspondant aux divers organismes qui les ont établis.

Dans cette nouvelle édition les règlements précédemment établis par le C. E. F. et l'U. S. E. qui ont été homologués dans le courant de 1930, par le Comité Supérieur de Normalisation, ont été maintenus dans l'ouvrage aux places qu'ils occupaient dans la précédente édition l'ancien numéro étant maintenu à côté du nouveau précédé de l'abréviation C. S. Nor. pour éviter toute ambiguité.

Les adjonctions et modifications introduites dans la présente édition, concernent les symboles graphiques internationaux, les tensions normales, le vocabulaire électrotechnique, les cartons isolants, les toiles vernies isolantes, les disjoncteurs pour tableaux de contrôle de 1re catégorie, les appareils et transformateurs de mesure, les règles techniques pour la fourniture des machines électriques, la circulaire et l'arrêté ministériel du 25 septembre 1929, concernant les lignes mixtes. On s'est attaché dans la présentation à faciliter les recherches le plus possible.

Voir bibliographie parue dans le bulletin de février 1931, N° 2, 5^e série, tome 1.

Numéro spécial du Génie Civil (Novembre 1930) publié à l'occasion du cinquantenaire de cette Revue.

Ce numéro de 236 pages, abondamment illustré, contient une série d'études,

faites par les personnalités les plus qualifiées du monde savant et industriel français, qui marquent l'évolution de la Grande Industrie au cours des cinquante années qui se sont écoulées depuis la fondation du Génie Civil. Un tel ouvrage ne peut se résumer, aussi nous bornerons-nous à donner la liste des différents sujets traités et le nom de leurs auteurs, en ajoutant que ce remarquable exposé présente un intérêt de premier ordre aussi bien pour les techniciens que pour tous ceux qui s'intéressent au magnifique développement de l'industrie moderne. On ne peut que féliciter le Génie Civil, dont l'éloge n'est plus à faire, d'avoir à l'occasion de l'anniversaire de sa fondation publié un tel ouvrage.

Le cinquantenaire du Génie Civil (A. Dumas); la science et l'industrie (H. Le Chatelier); le calcul mécanique et le calcul graphique (M. d'Ocagne); le rôle de l'ingénieur dans l'organisation du travail (Ch. de Fréminville) : l'aéronautique de 1880 à 1930 (R. Soreau et A. Volmerange) ; l'évolution des méthodes et des procédés agricoles ; (L. Brétignière) ; le matériel agricole (M. Riagelmann) ; l'industrie textile de 1880 à nos jours (J. Dantzer); les progrès de l'artillerie depuis cinquante ans (G. Challéat); cinquante années de construction navale militaire (Ch François); la marine de commerce de 1880 à 1930 (H. Brillié) ; le chemin de fer depuis cinquante ans (V. Sabouret) l'électrification des voies ferrées (H. Parodi) ; les progrès de la grande industrie chimique (C. Matignon); la chimie organique et ses applications industrielles et agricoles (J. Pérard) ; les progrès de l'éclairage (H. Laurain) ; cinquante années de l'industrie du verre (L. Delloye) ; la construction et l'architecture de 1880 à 1930 (P. Leprince-Ringuet) ; la grande industrie électrique (P. Janet); l'électrochimie et l'électrométallurgie (H. Gall); le télégraphe et le téléphone (E. Reynaud-Bonin) ; naissance et développement de la radioélectricité (A. Blondel) ; les progrès de la géodésie, de la topographie et de la cartographie (G. Perrier) ; l'évolution de la législation industrielle (H. Capitant) ; l'évolution de la législation du travail (P. Razous); l'évolution de la sidérurgie (G. Charpy) ; les aciers spéciaux (L. Baclé) ; les métaux autres que le fer (P. Guillet) ; les progrès de la géologie appliquée (L. de Launay) ; les progrès dans l'industrie minière (Ch. Biver); l'évolution des machines thermiques (Ch. Monteil) ; les progrès des théories de la résistance des matériaux et leur application à la construction des ponts (H. Lossier); idées actuelles sur la résistance des matériaux (A. Caquot) ; progrès depuis cinquante ans dans la construction des grandes voutes en maçonnerie (P. Séjourné) ; les procédés généraux de construction dans les travaux publics, l'aménagement des chutes d'eau et l'exploitation de la houille blanche (A. Mesnager) ; les barrages : différents types et modes d'exécution (A. Coyne ; les usines hydro-électriques (D. Eydoux) ; l'évolution de l'utilisation des chutes d'eau (E. Génissieu); les procédés de construction des souterrains (L. Chagnaud) ; les routes depuis cinquante ans (P Le Gavrian); construction et exploitation des ports maritimes (G. Hersent) ; l'évolution de l'automobile (Petiet et Delanghe).

Société des Anciens Elèves des Ecoles Nationales d'Arts et Métiers. — Annuaire des Sociétaires. — Un volume 14 cm × 21 cm, 1.112 pages. — Siège Social, 9 *bis*, Avenue d'Iéna, Paris, XV^e^.

Cet annuaire, après un rappel des Statuts, et après la liste des membres fondateurs, des membres bienfaiteurs et des membres donateurs de la Société, donne, en dehors de différents renseignements particuliers :

la liste alphabétique des membres de la Société ;
la liste des Sociétaires par promotions pour chacune des Ecoles ;
la liste des Sociétaires par résidence (Départements et Etranger) ;
la liste des Sociétaires par professions.

Manuel pratique des Batteries de démarrage, un volume relié de 23 × 16 cm. de 256 pages, de 116 figures. Prix 25 francs. Edité par la Société de l'Accumulateur Fulmen, à Clichy (Seine).

Les auteurs, dans l'avant-propos de ce livre, signalent « qu'ils ont voulu produire un ouvrage clair, bref et pratique, utile à consulter en toutes circonstances, de conception assez générale pour rendre service à tous ceux qui s'occupent de batteries de démarrage, quelle qu'en soit la fabrication ».

Ce but a été pleinement atteint et même dépassé car ce livre de 256 pages, illustré par 116 figures, embrasse sous une forme essentiellement pratique, l'en-

semble des questions auxquelles s'intéressent tous ceux qu'utilisent des accumulateurs.

La première partie intitulée « Généralités » est réservée à l'étude de la constitution d'une batterie, de l'électrolyte, des plaques, et à la théorie du fonctionnement. L'utilisation des batteries est traitée dans la seconde partie : réception, mise en service, charge, décharge, entretien courant, conservation en période de repos. La troisième partie est consacrée aux maladies des batteries et à leur diagnostic. La quatrième partie, plus spéciale, contient la description de

Ses deux dernières parties du livre sont réservées à l'étude d'un atelier de réparation et de charges (aménagement du local, matériel, outillage, installation du matériel de charge) et aux instructions qui doivent être suivies par les réparateurs : contrôle de l'équipement électrique d'une voiture, démontage d'une batterie, remontage, recommandations sur l'hygiène de l'Atelier.

Siemens Haudbucher, tome I par le Dr Michalke, tome V, par A. Schreiber, tome VII par G Scharowsky, tome VIII par E. Schupp, tome XII par C. Buschkiel, tome XIII par J. Baumer, C. Hahn, H. Kressler ; tome XV par D. O Höring Honny) volumes 15,5 × 21 édités par Walter de Gruyter et Cie, Berlin et Leipzig.

Ces volumes abondamment illustrés et de présentation attrayante constituent d'excellents ouvrages de vulgarisation, tout en renfermant de nombreux renseignements techniques intéressants.

Le tome I rappelle les principes fondamentaux de l'Electrotechnique et fournit des notions précises sur le fonctionnement, la construction et les applications pratiques des machines et appareils.

Le tome V et une monographie de la centrale thermique Fortuna II. Cette centrale située au voisinage de Cologne est remarquable du fait qu'elle utilise uniquement comme combustible du lignite extrait sur place Il y a à noter également l'importance des installations de refroidissement d'eau de condensation, rendues nécessaires par l'absence de cours d'eau dans le voisinage de l'usine.

Le tome VII est consacré à l'étude du facteur de puissance. L'auteur montre les inconvénients d'un mauvais facteur de puissance. Il indique ensuite les dispositions à prendre pour réduire l'importance de la puissance réactive demandée par un réseau, puis il décrit les conditions dans lesquelles cette puissance réactive peut être produite sur le lieu d'utilisation de façon à améliorer le facteur de puissance au départ de la centrale. (Emploi de machines tournantes synchrones ou asynchrones synchronisées et de condensateurs). Il étudie le couplage et la tarification de l'énergie réactive et pour terminer rappelle comment on peut régler la tension d'un réseau en un point, en faisant varier la grandeur et le sens de la puissance réactive fournie en ce point.

Le tome VIII concerne l'appareillage électrique. L'ouvrage est divisé en 5 parties : 1) Appareils de démarrage; 2) Régulateurs ; 3) Equipements de manœuvre pour démarreurs et régulateurs ;4) Appareils de coupure (interrupteurs et sectionneurs ; 5) Equipements des appareils de coupure.

Le tome XII traite des applications domestiques de l'Electricité et plus spécialement des applications de l'Electricité à l'agriculture,

Après avoir rappelé quelques notions fondamentales d'Electrotechnique, l'auteur indique les différents modes de production du courant qui peuvent être envisagés et met en évidence les qualités que devra réunir le matériel destiné à une installation rurale.

Il décrit ensuite un certain nombre d'applications particulières à l'agriculture et s'étend spécialement sur le chauffage électrique

Le tome XIII est relatif aux applications de l'électricité aux mines. Le volume renferme de nombreux détails sur les conditions d'utilisation de l'électricité dans les mines. Les chapitres correspondant au pompage, à l'équipement des machines d'extraction et à la traction électrique, sont particulièrement développés.

Le tome XV traite de la traction électrique. L'auteur, après avoir rappelé le développement actuel de la traction électrique dans le monde et indiqué les différentes catégories de transports auxquelles elle s'applique, précise d'abord les conditions d'établissement d'un projet de traction électrique. Il étudie ensuite dans le détail les parties mécaniques et électriques des véhicules, la production et le transport de l'énergie électrique, l'établissement des voies et des lignes de contact, puis il examine l'application de la traction électrique à certains cas spéciaux (chemins

de fer industriels, chemins de fer à crémaillère, chemins de fer suspendus, Trolleybus). Il termine par l'exposé de considérations générales sur l'exploitation des réseaux ferrés électrifiés.

Enseignement

Cours de physique, par A. Lafay Professeur à l'Ecole Polytechnique. Tome II. Thermodynamique. Optique. Un volume broché 23 × 28 cm., 700 pages. Librairie Gauthier-Villars et Cie., 55, quai des Grands-Augustins, Paris, 6e.

La connaissance des matières contenues dans cet ouvrage constitue la base indispensable à toute étude sérieuse de la physique théorique et expérimentale. Comme tous les ouvrages de cet auteur, celui-ci est d'une lecture facile et attrayante pour tout lecteur possédant les connaissances mathématiques nécessaires à la compréhension d'un livre de cette nature. La rédaction de cet ouvrage tient compte des dernières acquisitions de la science dans les matières traitées. C'est ainsi qu'interviennent certaines parties de la relativité dans le chapitre réservé à l'étude de l'action du mouvement des corps sur les phénomènes lumineux. Un chapitre entier est d'ailleurs consacré à la discussion des théories d'Einstein, Minkowski et Lorentz.

Le Conservatoire National des Arts et Métiers (Programmes). Préface du Colonel Laussedat. Un volume broché 16 × 25, 214 pages, 4 planches photographiques. Edition 1930. Librairie Vuibert, 63, boulevard Saint-Germain, Paris.

Cet ouvrage dont la préface constitue un résumé historique de la fondation et du développement du Conservatoire des Arts et Métiers, ainsi que du rôle joué par cet Établissement, expose en détail les programmes des cours qui y sont professés.

L'ouvrage se recommande par la clarté de sa rédaction et la précision de sa documentation : le lecteur y trouvera le règlement intérieur de l'établissement, le programme détaillé de chaque matière enseignée, ainsi que les renseignements concernant pour chaque enseignement les frais d'inscription et d'examen y afférents.

Considéré dans son ensemble, ce recueil donne d'ailleurs un aperçu de la diversité et de la multiplicité des matières enseignées dans cet établissement, ainsi que du développement donné à chaque enseignement.

Divers

La production française industrielle et commerciale en 1930, édité par l'action industrielle et commerciale. Un volume 19 × 25 cm., 300 pages. Nombreuses photographies. Groupement pour le commerce et l'industrie, 7, rue des Italiens, Paris. Prix broché : 20 francs.

Ce volume est constitué par une série d'articles exposant la situation exacte et vivante des industries et groupements commerciaux principaux de notre pays. Il intéresse donc toutes les personnes soucieuses de se tenir au courant de l'activité économique du pays et de connaître ce que chacune de nos industries est susceptible de fournir aux autres. Chacun des articles contenus dans cet ouvrage est l'œuvre non des professionnels de la publicité mais bien des producteurs eux-mêmes. C'est dire qu'on y trouvera tous les renseignements techniques nécessaires, tous les chiffres utiles et non pas seulement des développements vagues à tendances publicitaires.

Les grandes divisions de ce volume sont : l'électricité et ses applications, les constructions navales, l'automobile, l'aviation, la métallurgie, la chimie, la construction, l'alimentation, l'outillage agricole, les services généraux.

IL Y A TRENTE ANS

Réunion ordinaire mensuelle du 5 juin 1901

Présidence de M. A. HILLAIRET.

M. P. JANET fait une communication intitulée : *Recherches sur l'Arc électrique* à *courant continu, exécutées au Laboratoire Central d'Électricité.*

Le conférencier présente un exposé très clair et très complet, comportant 46 pages du bulletin, des recherches de ses collaborateurs MM. LAPORTE et LÉONARD sur l'arc électrique à courant continu.

Ils ont repris les études de M. BLONDEL, publiées dans *l'Eclairage électrique* de 1897 sur le rendement lumineux des charbons, en utilisant le lumenmètre BLONDEL et le grand appareil à deux miroirs, décrit dans le bulletin de la Société de 1899 (page 288).

7 tableaux et une représentation graphique, donnant les courbes d'égal flux lumineux, résument deux séries d'expériences entreprises pour étudier le flux produit par des charbons déterminés fonctionnant à divers régimes, soit d'intensité constante, soit sous tension constante.

Le travail comporte ensuite l'étude de la consommation horaire des charbons, de la forme de l'arc, de la résistance électrique des charbons, de l'influence de la variation de leur diamètre sur le flux lumineux et se termine par la comparaison de charbons de provenances différentes.

M. BOCHET présente des *Observations relatives aux différents régimes des lampes à arc.*

Ce sont les résultats d'une étude faite par la Seconde Section du Comité de la Société sur les divers régimes des lampes à arc à courant continu ou alternatif et des arcs en vase clos.

M. A. LECOMTE ajoute quelques mots sur le rendement et l'utilisation des lampes en vase clos.

BAR-LE-DUC. — IMP. COMTE-JACQUET *Le gérant :* Alfred MAGNIER.